

**Vergleichende Untersuchung von Dachkonstruktionen in Pfetten- und  
pfettenloser Bauweise**

# Bachelorarbeit

vorgelegt von

Toni Zeilmann

Angefertigt im Studiengang Bachelor of Engineering (B.A.)

im Fachbereich Maschinenbau an der Hochschule Mittweida/Roßwein

Studiengang Stahl-Metallbau

Erstprüfer:

Prof. Dr.- Ing. Torsten Laufs

Zweitprüfer:

Dipl.- Ing. Karl-Heinz Zeilmann

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1-1</b>
<b>2. Aufgabenstellung .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Zielstellung.....</b>	<b>2</b>
<b>4. Untersuchungsfeld .....</b>	<b>3</b>
4.1 Pfettendach mit Sandwichdeckung.....	3
4.2 Pfettenlose Dachkonstruktion mit Tragschale.....	4
4.3 Rahmen .....	4
<b>5. Variantenstruktogramme .....</b>	<b>6</b>
5.1 Pfettendach .....	6
5.2 Pfettenloses Dach .....	8
<b>6. Beschreibung der Berechnungssoftware.....</b>	<b>11</b>
6.1 Programm Pfettenbauweise mit Sandwichdeckung.....	11
6.1.1 Eingabemaske.....	12
6.1.2 Sandwichbemessung .....	15
6.1.2.1 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination .....	16
6.1.2.2 Schnittkraftermittlung für abhebende Lastfallkombination.....	17
6.1.2.3 Nachweise .....	19
6.1.3 Pfettenbemessung.....	20
6.1.4 Rahmenbemessung .....	22
6.1.4.1 Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung .....	23
6.1.4.2 Eingabe Rahmen .....	24
6.1.4.3 Schnittgrößenermittlung .....	25
6.1.4.4 Kombiniertes Nachweis Biegeknicken + Biegedrillknicken Stütze.....	25
6.1.4.5 Querschnittsnachweis Stütze und Riegel.....	36
6.1.4.6 Voutenberechnung.....	38
6.1.5 Materialkosten .....	40
6.2 Programm pfettenlose Bauweise mit Tragschale .....	41
6.2.1 Eingabemaske.....	42
6.2.2 Trapezblechbemessung .....	44

I

6.2.2.1	Berechnungsalgorithmus Trapezblechberechnung .....	45
6.2.2.2	Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination .....	46
6.2.2.3	Nachweise .....	49
	Verformung .....	50
6.2.3	Rahmenbemessung .....	52
6.2.3.1	Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung .....	53
6.2.3.2	Eingabe Rahmen .....	54
6.2.3.3	Schnittgrößenermittlung .....	55
6.2.3.4	Kombinierter Nachweis Biegeknicken + Biegedrillknicken Stütze	57
6.2.3.5	Kombinierter Nachweis Biegeknicken + Biegedrillknicken Riegel	57
6.2.3.6	Querschnittsnachweis Stütze und Riegel .....	58
6.2.3.7	Voutenberechnung .....	60
6.2.4	Materialkosten .....	62
6.3	Überprüfung des Programms anhand einer Handberechnung .....	63
6.3.1	Trapezblechbemessung .....	63
6.3.2	Rahmenbemessung .....	63
6.3.3	Auswertung .....	64
<b>7.</b>	<b>Auswertung .....</b>	<b>65</b>
7.1	Vorüberlegungen .....	65
7.1.1	Pfettenprofile .....	65
7.1.2	Trapezblech .....	66
7.2	Auswertung Pfettendach mit Sandwichdeckung .....	67
7.2.1	Aufstellung der günstigsten Varianten .....	67
7.2.2	Materialkostenaufteilung .....	68
7.2.3	Kosten Stahlbau .....	74
	Stahlbaukosten prozentual .....	77
7.2.4	Gesamtmaterialkostenverteilung .....	79
7.3	Auswertung pfettenlose Dachkonstruktion mit Tragschale .....	84
7.3.1	Aufstellung der günstigsten Varianten .....	84
7.3.2	Materialkostenaufteilung .....	85
7.3.3	Kosten Stahlbau .....	91
	Stahlbaukosten prozentual .....	94
7.3.4	Gesamtmaterialkostenverteilung .....	96

7.4	Variantenvergleich Pfettendach - pfettenloses Dach .....	101
7.4.1	Aufstellung der günstigsten Varianten .....	101
7.4.2	Materialkostenaufteilung.....	102
7.4.3	Gesamtmaterialkosten.....	104
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>106</b>
8.1	Pfettendach .....	106
8.2	Pfettenloses Dach .....	107
8.3	Vergleich beider Dachkonstruktionen .....	108
<b>9.</b>	<b>Anhang I Nachweisstruktogramme.....</b>	<b>109</b>
<b>10.</b>	<b>Anhang II Beispielrechnungen .....</b>	<b>113</b>

## **1. Einleitung**

Der Werkstoff Stahl wird heute in vielen Bereichen eingesetzt. Die große Vielfalt der Eigenschaften, kombiniert mit unterschiedlichsten technischen Herstellungsverfahren zur Einstellung bestimmter Gefügestände, eröffnet große Anwendungsbereiche. Durch diese Mechanismen lässt sich Stahl beinahe an jede Aufgabe beliebig anpassen.

Aufgrund des Trends von steigenden Rohstoffpreisen und der hohen Nachfrage ist ein wirtschaftliches Produzieren unumgänglich. Dies funktioniert aber nur, wenn der Bereich der Tragwerksplanung und die Wirtschaftlichkeit optimal harmonisieren. Gerade im Stahlhochbau sind die Tragwerke als fertiges Produkt nicht verfügbar, sondern müssen an ihre jeweiligen Einsatzbedingungen individuell angepasst werden. Dadurch lässt sich keine Serien- oder Massenfertigung einstellen, die langfristig optimiert werden kann, so wie z. B. in der Automobilbranche. Es ist vielmehr von Beginn an eine genaue Planung durch den Ingenieur notwendig, um einen guten Zusammenfluss zwischen Tragwerksplanung und Wirtschaftlichkeit sicherzustellen.

Die Wahl des Tragwerks spielt besonders im Stahlhallenbau eine übergeordnete Rolle. Die rasche Entwicklung der Leichtbauweise und das damit verbundene Bauen mit sehr dünnwandigen Querschnitten vergrößern die Konstruktionsvarianten von Hallenbauten um ein Vielfaches. In den letzten 50 Jahren erlangten das Bauen mit Trapezprofilblechen als Tragschale für pfettenlose Dächer sowie die selbsttragenden Sandwichpaneele große Bedeutung. Hohe Nachfrage und steigender Konkurrenzkampf zwingen zur richtigen Wahl des Tragwerks, um kostenminimiert produzieren zu können. Deshalb entstand der Gedanke zu dieser Arbeit, welche sich mit einer vergleichenden Untersuchung von Dachkonstruktionen in Pfetten- und pfettenloser Bauweise beschäftigt.

## **2. Aufgabenstellung**

Die Aufgabe dieser Arbeit soll in einer wirtschaftlichen und zugleich statisch vergleichenden Untersuchung von zwei unterschiedlichen Dachkonstruktionen im Hallenbau bestehen. Verglichen werden soll die Pfetten- mit pfettenloser Bauweise. Die Umsetzung beruht auf der Berechnung verschiedener Varianten, die sich aus Spannweite, Achsabständen und Pfetten- bzw. Druckrohranzahl zusammensetzt. Hierbei stehen die Kosten und zugleich die statische Tragsicherheit im Vordergrund.

## **3. Zielstellung**

Innerhalb unserer Wirtschaft sind Hallen sehr weit verbreitet und in jedem Gewerbegebiet zahlreich vertreten. Eine große Rolle spielen hier auch die städtebaulichen und architektonischen Anforderungen. Eine Halle ist nicht nur ein rechteckiger oder quadratförmiger Baukörper. Mögliche Anbauten, Vordächer, Dachformen und Lichtkuppeln lassen sich realisieren. Gerade die möglichen Bereiche von Lagerung, Büro und Verwaltung, Werkstätten und/oder Technikbereichen zeigen die Vielfalt von Einsatzmöglichkeiten. Aus diesen Argumenten lassen sich tausende Varianten erstellen.

Deshalb macht es umso mehr Sinn, die Gesamtkosten der jeweiligen Konstruktion durch Materialkosten zu verringern, um somit wettbewerbsfähig zu bleiben. Wichtig ist hierbei der Zusammenhang zwischen der Tragwerksplanung und der Wirtschaftlichkeit.

Darin, dass beide Dachkonstruktionen in der Praxis weit verbreitet sind und es scheinbar keine klar definierte Regel gibt, in der beschrieben ist, welche Variante zum Einsatz kommt, begründet sich diese Arbeit. Letztendlich soll für den Anwender eine Tendenz entstehen, bei welchen Parametern, z. B. Spannweite oder Achsraster, die jeweilige Dachkonstruktion unter Berücksichtigung von Tragsicherheit und Wirtschaftlichkeit sinnvoll ist. Somit wird das Hauptziel „Kostenminimierung“ klar definiert und festgelegt.

#### **4. Untersuchungsfeld**

Bei der Festlegung des Untersuchungsfeldes treten mehrere Probleme auf. Aufgrund der Vielfältigkeit von Einflussgrößen und Parametern, wie beispielsweise die Abmessungen der Gesamtkonstruktion, Lasten und Materialien sind hier sorgfältige Vorüberlegungen anzustellen, um geeignete Parameter festzulegen. Aus diesem Grund ergeben sich sowohl primäre, als auch sekundäre Parameter.

Primäre Parameter sind Spannweite, Achsabstand und Pfettenanzahl bzw. Druckrohranzahl pro Dachseite. Diese dienen zur direkten Erstellung der Varianten.

Die sekundären Varianten, wie z. B. Pfetten- oder Sandwichprofile werden nicht direkt zur Variantenaufstellung genutzt, sondern dienen zur Kostenreduzierung. Sie werden der jeweiligen Variante so angepasst, dass sie im günstigen Bereich der Wirtschaftlichkeit und Tragsicherheit liegen.

Als Grundlage für die Untersuchung dient zum ersten die Konstruktionsvariante der Pfettenbauweise mit selbsttragenden Sandwichelementen nach DIN EN 14509. Als zweite Konstruktionsvariante kommt die pfettenlose Bauweise mit Trapezprofilblech als Tragschale und der dafür erforderliche Dämmaufbau zur Anwendung. Pfettenlose Dächer werden in der Regel mit einer geringen Dachneigung ausgeführt (ca.1°), Pfettendächer mit Sandwichdeckung benötigen allerdings eine Dachneigung von mindestens 4°. Um hier eine vergleichende Untersuchung zu ermöglichen, wurde der Mittelwert gebildet und die Dachneigung beider Varianten mit 3° angegeben.

Außerdem wurde für beide Varianten der gleiche Wandaufbau, bestehend aus Kingspan KS1000AWP und pro Seite drei Schrag C-Riegel C160-25 festgelegt.

##### **4.1 Pfettendach mit Sandwichdeckung**

Zur Untersuchung dieser Konstruktionsart werden Sandwichelemente der Firma Kingspan zu Grunde gelegt. Hier kommen die Dachelemente KS1000 RW in den Kernschichtdicken 25 bis 120 mm zum Einsatz. Bei der Dacheindeckung wird von einer geschlossenen Dachfläche ohne RWA und/oder Lichtkuppeln ausgegangen. Die Eigenlasten der Profile werden ebenfalls berücksichtigt. Die zulässige Verformung der Sandwichdachelemente wird auf  $l/200$  beschränkt.

Als Pfetten kommen Z-Leichtbaupfetten vom Hersteller Schrag in der Materialgüte S 320 GD nach DIN EN 10346 zum Einsatz. Der Profilkatalog beinhaltet die Profile

vom Z140-15 bis Z280-40. Als statisches System wird der Mehrfeldträger festgelegt. Die Pfettenanzahl pro Dachseite wird als variabler Parameter festgelegt. Als maßgebende Bemessungslast dient die maximale Auflagerreaktion der Sandwichprofile im andrückenden und abhebenden Lastfall. Die zulässige Verformung beträgt  $l/200$ .

#### 4.2 Pfettenlose Dachkonstruktion mit Tragschale

Bei der pfettenlosen Dachkonstruktionsart wird folgender Dachaufbau gewählt:

- Trapezprofilblech der Firma Hoesch (T100.1 – T160.1), welches gleichzeitig als Tragschale fungiert
- Dämmung in Polyurethen Hartschaum nach DIN 18159-1 in 16 cm Dicke und einer
- PVC-Schweißbahn als wasserführende Schicht

Die Eigenlast der Dämmung und PVC-Schweißbahn wird mit  $0,17 \text{ kN/m}^2$  festgelegt. Die zulässige Verformung beträgt  $l/300$ .

Aufgrund der größeren Auflagefläche für die Dämmung wurde die Trapezblechausrichtung in Positivlage konstruktiv gewählt. Als statisches System wird aufgrund seiner geringeren und somit günstigeren Schnittgrößen ein Dreifeldträger angenommen. Die Tragschale dient nicht als Schubfeld und übernimmt somit keine Aussteifung in horizontaler Richtung. Tragfähigkeitsnachweise werden nach DIN 18807 [3/7] ausgeführt und basieren auf dem Nachweis elastisch-elastisch.

#### 4.3 Rahmen

Man muss bedenken, dass wahrscheinlich ein Hallenrahmen mit Fachwerkbindern bzw. Stützen hier das Hauptziel der Materialkostenminimierung verfolgen würde, man kann aber aus der Praxis entnehmen, dass sich Fachwerkstrukturen erst bei Spannweiten ab 30 m als sinnvoll und wirtschaftlich erweisen. Da der überwiegende Anteil der Hallen in der Praxis bei Spannweiten unter 30 m liegt wird der Hallenrahmen als Zweigelenkrahmen mit Vollwandträgern ausgeführt. Der biegesteife Rahmen wird im Fußpunkt gelenkig gelagert. Als Profile für Riegel und Stütze kommen Walzprofile der Profilklassen IPE, HEA und HEB nach DIN10025 zum Einsatz. Als Traufhöhe werden 5 m festgelegt. Zu den primären Variablen, die für die Variantaufstellung gewählt wurden, gehören die Spannweite (15 m; 17,5 m; 20 m; 22,5 m; 25 m; 27,5 m; 30 m), Achsraster (6 m; 6,5 m; 7 m) und die Pfettenanzahl (3; 4; 5; 6) bzw. die Druckrohranzahl (3; 4; 5) pro Dachseite. Für die Bemessung des Rah-



mens wurde die maßgebende Lastfallkombination (Schnee, Eigenlast und Wind) eingesetzt. Zur Ermittlung der Schnittgrößen kommen die Rahmenformeln nach Heil/Vogel zum Einsatz. Um eine gewisse Praxisnähe zu erreichen, wurde bei der Bemessung mit Vouten gearbeitet. Anpralllasten finden keine Beachtung. Installationslasten, wie beispielsweise für Heizung und Beleuchtung wurden mit  $0,1 \text{ kN/m}^2$  angenommen.

Für die Berechnung einer Ersatzlinienlast wurden die Pfettenauflagerkräfte verwendet. Die Querschnittsnachweise wurden nach der mittlerweile aktuellen Norm DIN EN 1993-1-1, 6.2.10 durchgeführt, alle Stabilitätsnachweise für Riegel und Stützen nach DIN EN 1993-1-1/6.3.3. Verbandsfelder in der horizontalen und vertikalen Ebene fanden hier keine Berücksichtigung.

Auf der Grundlage dieser Festlegungen lassen sich für jeden Konstruktionstyp Varianten aufstellen und berechnen, womit sich im Endeffekt unter statischen und wirtschaftlichen Aspekten Materialkosten ergeben, die getrennt voneinander in Stahlbau und Hüllkonstruktion aufgeteilt werden. Diese Kosten werden in  $\text{€/m}^2$  angegeben und beziehen sich auf ein Hallensegment (Rahmen mit Hüllkonstruktion), dessen Grundfläche Achsabstand  $\times$  Spannweite ergibt. Der Kostenberechnung liegen aktuelle Einkaufspreise der Bauelemente zugrunde.

Die Untersuchung stützt sich auf eine in Längsrichtung erweiterbare Halle ohne vorgesetzte Giebelwand. Mit dieser Berechnungs- und Auswertungsgrundlage lassen sich beide Konstruktionen hinsichtlich ihrer Materialkosten vergleichen. Hierdurch werden Tendenzen dem Anwender helfen, in der Praxis die kostengünstigere Konstruktion zu finden. Durch die separate Aufstellung in Stahlbau- und Hüllkonstruktionskosten kann durch Addition der Gesamtpreis ermittelt werden. Diese Kosten beziehen sich nur auf das Material. Anfallende Fertigungs- und Montagekosten werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

## 5. Variantenstruktogramme

### 5.1 Pfettendach

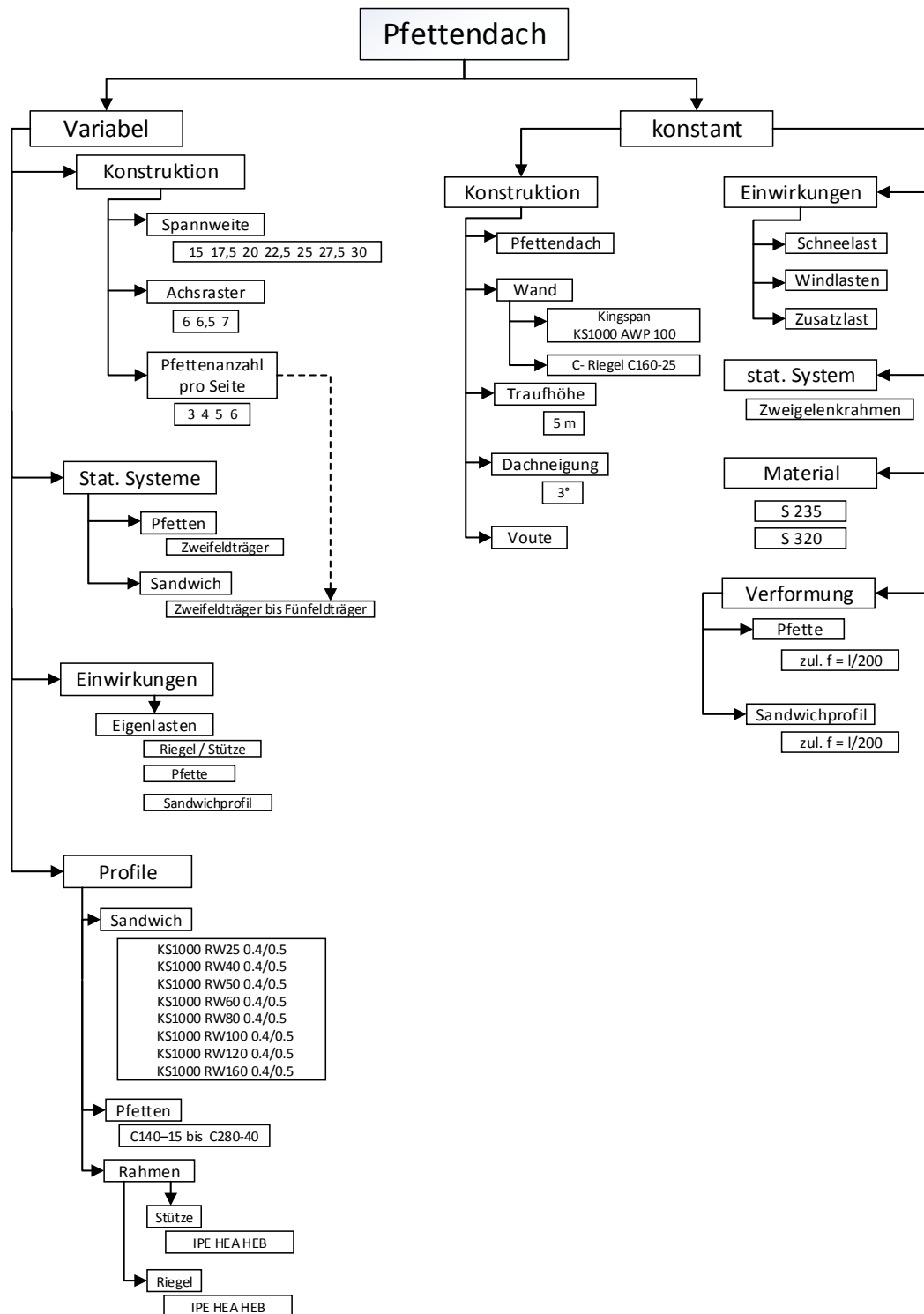


Abbildung 5.1 Variantenstruktogramm Pfettendach

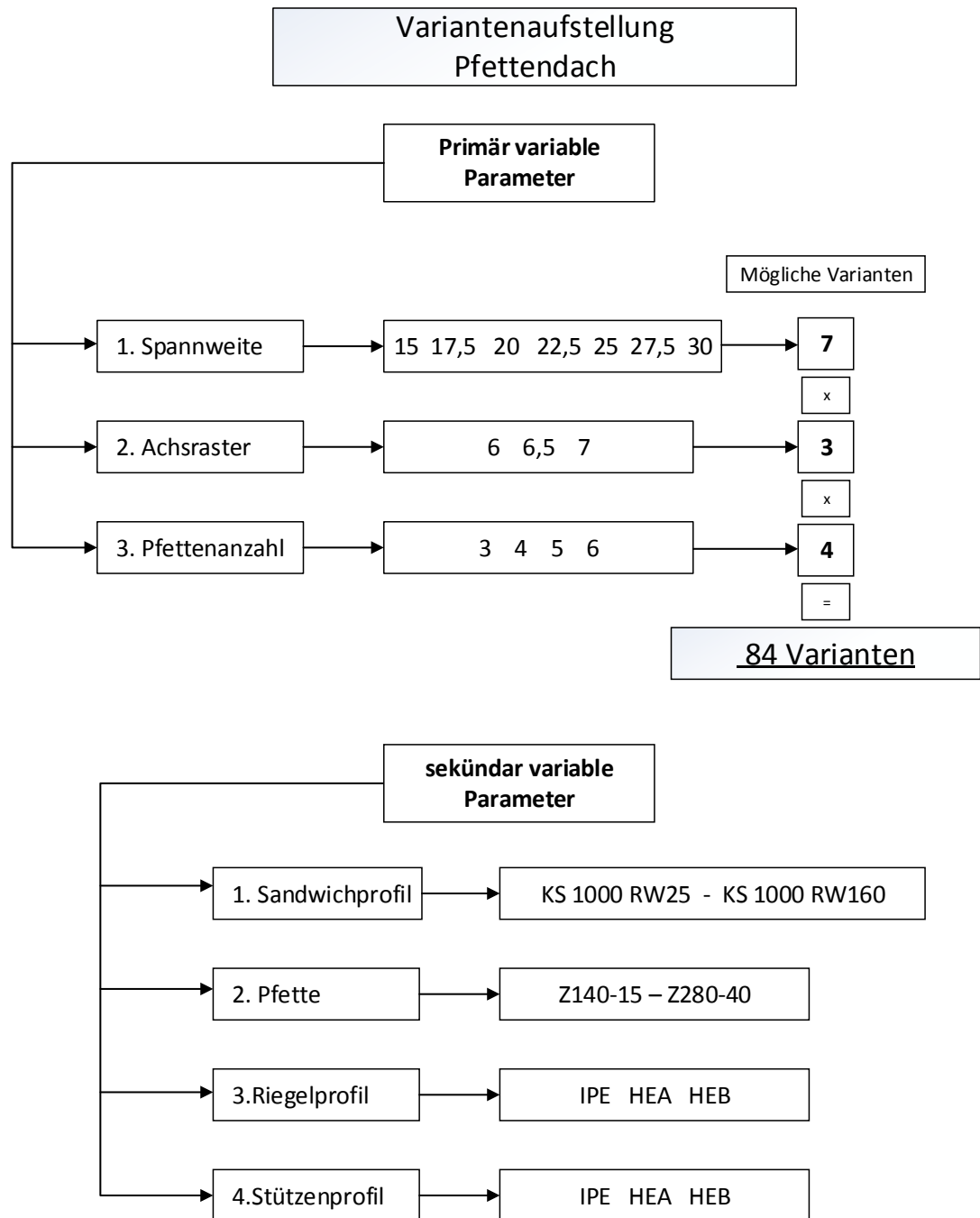
**Abbildung 5.2 Variantenaufstellung Pfettendach**

Abbildung 5.2 zeigt die Variantenaufstellung der Dachkonstruktion mit Pfettenbauweise. Durch die variablen Parameter Spannweite, Achsabstand und Pfettenanzahl entstehen 84 mögliche Varianten.

Die sekundären Variablen werden in Sandwichprofil, Pfette, Riegelprofil und Stützenprofil aufgeteilt.

## 5.2 Pfettenloses Dach

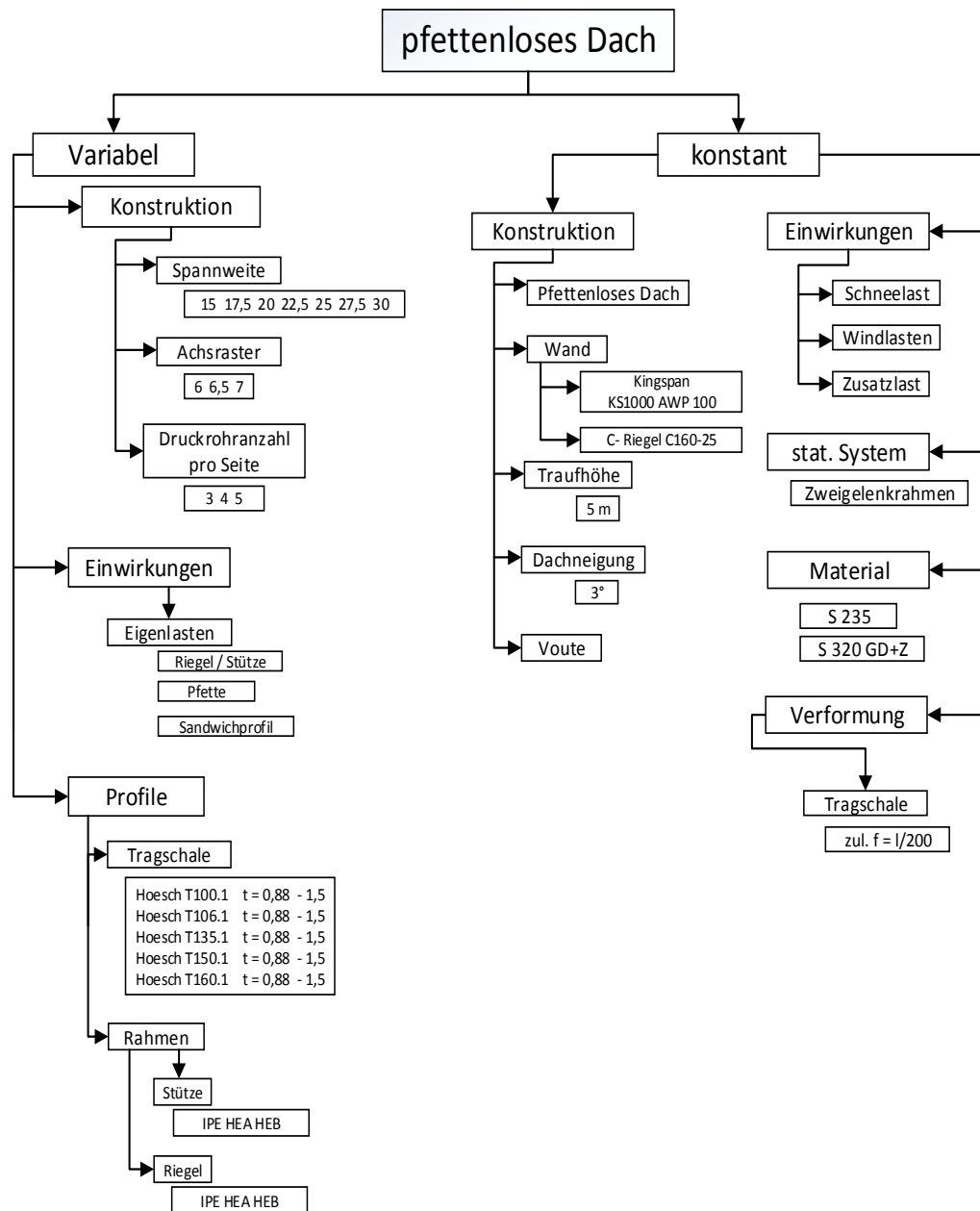
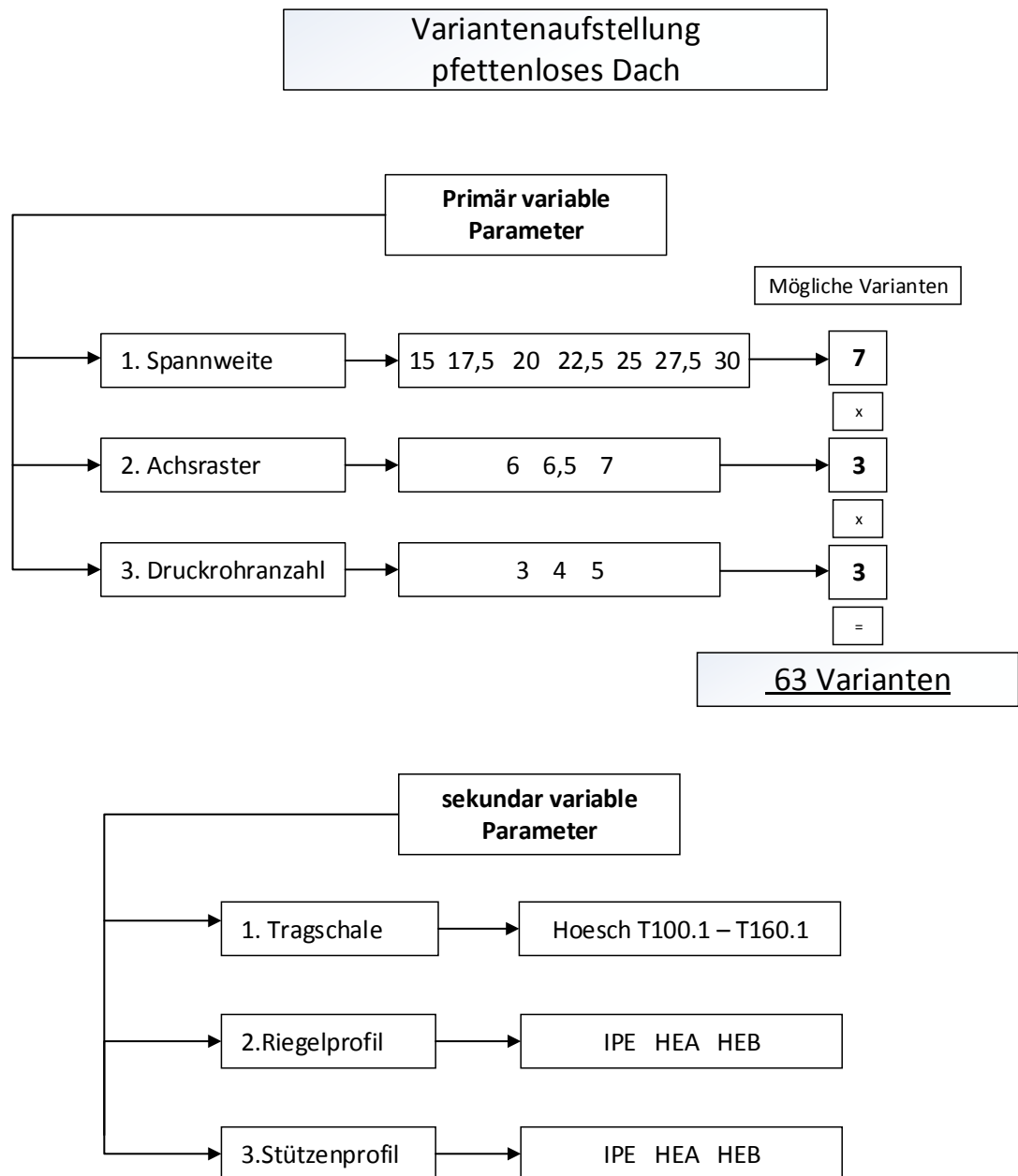


Abbildung 5.3 Variantenstruktogramm pfettenloses Dach



**Abbildung 5.4 Variantenaufstellung pfettenloses Dach**

Abbildung 5.4 zeigt die Variantenaufstellung der Dachkonstruktion mit pfettenloser Bauweise. Durch die variablen Parameter Spannweite, Achsabstand und Druckrohranzahl entstehen 63 mögliche Varianten.

Die sekundären Variablen werden in Tragschale, Riegelprofil und Stützenprofil aufgeteilt.

Beide Dachkonstruktionen liefern eine Variantenvielfalt von 147 im Gesamten. Des Weiteren ergeben sich durch die sekundär variablen Parameter unzählige weitere Varianten.

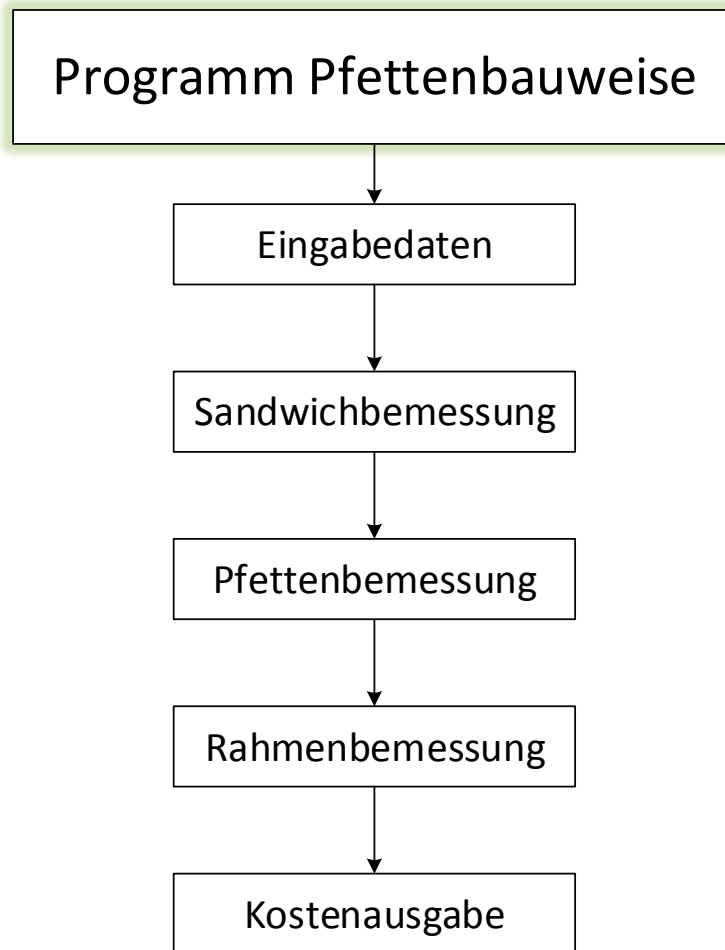
Diese Anzahl liefert letztendlich ausreichende Tendenzen, um geeignete Aussagen über die Kostenaufteilung in Stahlbau und Hüllkonstruktion treffen zu können und somit die Wahl der Konstruktion unter wirtschaftlichen Aspekten zu erleichtern.

Um diese Varianten effizient und sicher zu berechnen, ist der Einsatz von Rechen-technik sinnvoll und angebracht. Die Berechnungen wurden mit Microsoft Excel durchgeführt, welche in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich erläutert werden.

## 6. Beschreibung der Berechnungssoftware

Für die Untersuchung der Varianten wurde für beide Dachkonstruktionen jeweils ein Programm entwickelt. Die Endausgabe beider Programme liefert den ermittelten Materialpreis, getrennt in Hüllkonstruktionskosten und Stahlbaukosten in €/m<sup>2</sup>. Diese Programme dienen lediglich für die Vorbemessung und für kalkulatorische Zwecke und ersetzen keine prüffähige Statik.

### 6.1 Programm Pfettenbauweise mit Sandwichdeckung



**Abbildung 6.1 Programm Pfettenbauweise**

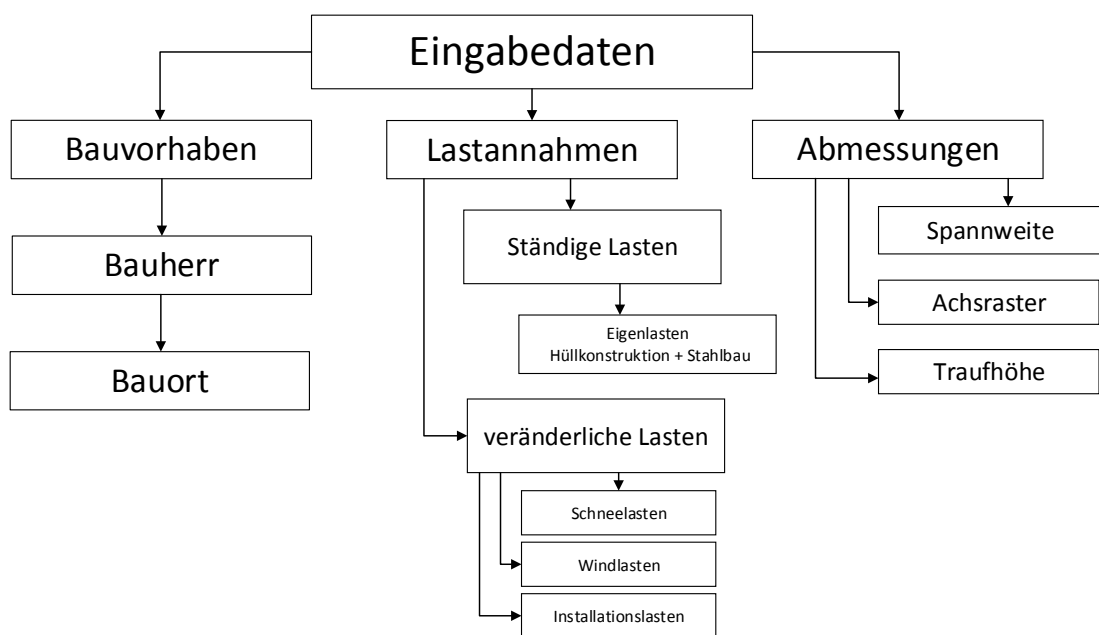
Mit diesem Programm lassen sich die Kosten für Stahlbau und Hüllkonstruktionen statisch und kalkulatorisch erfassen.

Das Programm besteht aus fünf Hauptfeldern, der Eingabemaske, Sandwichbemessung, Pfettenbemessung, Rahmenbemessung und der Kostenausgabe. Diese Hauptfelder wurden als einzelne Oberflächen im Programm umgesetzt, welche nacheinander abgearbeitet werden müssen.

Um die einzelnen Oberflächen für den Anwender zu vereinfachen, werden nur die Eingabemöglichkeiten und die Nachweise dargestellt. Die Eingabemöglichkeiten, in denen der Anwender Änderungen vornehmen kann, wurden mit einem rötlichen Hintergrund dargestellt, die Nachweise mit einem grauen Hintergrund. Alle relevanten Berechnungen laufen im Hintergrund des Programms ab. Orange hinterlegte Felder signalisieren dem Benutzer die Ergebnisse der Berechnungen.

Es wurde darauf geachtet, dass die Reihenfolge der Bauteilberechnungen dem Dachaufbau ab Oberkante Dach, also von oben nach unten, entspricht.

### 6.1.1 Eingabemaske



**Abbildung 6.2 Eingabedaten Struktogramm**

In der Eingabemaske lassen sich alle Vorwerte, wie Bauort, Schneelasten, Windlasten, Spannweite, Achsraster und Traufhöhe eingeben. Die Lasten werden alle als charakteristische Lasten eingegeben. (Abbildung 6.3 und 6.4)



Programm zur Kalkulation von Hallen mit Sandwichdachkonstruktion

Bauvorhaben:	
Bauherr:	
Bauort:	

Herausgeber: Toni Zeilmann SM10w1-B  
Stand : 12.08.2014

**START**

**Abbildung 6.3 Deckblatt**

Eingabedaten		
Spannweite [m] :	20	
Traufhöhe [m]:	7,5	
Raster [m]:	5	▼
Schneelast s	<b>0,68</b>	kN/m <sup>2</sup>
Windlasten:		
Windruck WD	<b>0,1</b>	kN/m <sup>2</sup>
Windsog WS	<b>-0,4</b>	kN/m <sup>2</sup>
Zusatzlast	<b>0,1</b>	kN/m <sup>2</sup>

**WEITER zu "Sandwich"**

**Abbildung 6.4 Eingabedaten**

Eigenlasten:

### Ständige Lasten

Alle Eigenlasten der Hüllkonstruktion und des Stahlbaus werden programmintern berücksichtigt.

### Veränderliche Lasten

#### **Schneelasten**

Für die Untersuchung wurde ein Mittelwert für die in Deutschland vorkommenden Schneelasten berücksichtigt.

- Schneelastzone II
- Höhe NN < 300 m
- $0^\circ < \alpha = 3^\circ < 30^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$
- $s_k = 0,85 \text{ kN/m}^2$
- $s = s_k \cdot \mu_1 = 0,85 \cdot 0,8 = \underline{0,68 \text{ kN/m}^2}$

#### **Windlasten**

Winddruck:  $0,1 \text{ kN/m}^2$

Windsog:  $0,4 \text{ kN/m}^2$

#### **Installations-/Zusatzlasten**

$z_k = \underline{0,1 \text{ kN/m}^2}$

Installationslasten wurden einheitlich für die gesamte Dachfläche für Beleuchtungs- und Heizungslasten angenommen.

## 6.1.2 Sandwichbemessung

**Sandwichbemessung**

**EINGABE**

1. Profil: KS 1000 RW 80 0.5/0.4

2. Pfettenanzahl: 5

3. statisches System: 4 - Feldträger

4. Abmessungen:

Gesamtlänge:	10,01	m
Feldlänge:	2,50	m

5. Einwirkungen:

Schnee	$s_d = s \cdot 1,5$	1,02	kN/m
Eigengewicht Sandwich	$q_{E,d} = q_E \cdot 1,35$	0,15	kN/m
Winddruck	$w_{0,d} = w_d \cdot 1,5 \cdot 0,6$	0,09	kN/m
Windsog	$w_{s,d} = w_s \cdot 1,5$	-0,9	kN/m
Zusatzlast	$z_d = z \cdot 1,5$	0,15	kN/m

**AUSGABE**

5. Schnittgrößen:

Andrückende Lasten			
max. $R_{a,s,d}$	1,52	kN/m	$1,35 \cdot q_E + 1,5 \cdot z + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_d$
max. $R_{b,s,d}$	4,25	kN/m	$1,35 \cdot q_E + 1,5 \cdot z + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_d$
max. $M_{b,s,d}$	-1,04	kNm/m	$1,35 \cdot q_E + 1,5 \cdot z + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_d$
max. $M_{f,s,d}$	0,83	kNm/m	$1,35 \cdot q_E + 1,5 \cdot z + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_d$
Abhebende Lasten			
max. $R_{a,s,d}$	-0,87	kN/m	$1,0 \cdot q_E + 1,0 \cdot z + 1,5 \cdot w_s$
max. $R_{b,s,d}$	-2,69	kN/m	$1,0 \cdot q_E + 1,0 \cdot z + 1,5 \cdot w_s$
max. $M_{b,s,d}$	0,68	kNm/m	$1,0 \cdot q_E + 1,0 \cdot z + 1,5 \cdot w_s$
max. $M_{f,s,d}$	0,43	kNm/m	$1,0 \cdot q_E + 1,0 \cdot z + 1,5 \cdot w_s$

**NACHWEISE**

max. Feldlänge [m]	3,44	72,8%	OK
vorh. Feldlänge [m]	2,50		
max. Feldlänge [m]	8,79	28,5%	OK
vorh. Feldlänge [m]	2,50		

Zurück

WEITER zu "Pfetten"

Abbildung 6.5 Sandwichbemessung

In der zweiten Eingabemaske werden alle notwendigen Parameter zu dem Sandwichprofil eingegeben. Dies beinhaltet die Wahl des Dachelements vom Profil KS1000RW25 bis KS1000 RW120; und außerdem die Wahl der Pfettenanzahl aufgrund des statischen Systems. (2-Feldträger bis 5-Feldträger).

Die Nachweise werden in den grau hinterlegten Feldern angezeigt. (Abbildung 6.5). Die Bemessung wird jeweils mit andrückenden sowie mit abhebenden Lasten durchgeführt, sie erfolgt mit den größten Schnittkräften in beiden Lastfallkombinationen. Aufgrund der sehr aufwendigen Berechnung von Sandwichprofilen dienen zur Nachweisführung Belastungstabellen vom Hersteller. Um einen Eindruck von einer Handberechnung eines Sandwichprofils zu bekommen, wurde im Anhang dieser Arbeit eine Berechnung eines Sandwichdachprofils hinterlegt.

## 6.1.2.1 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination

	Laststellung	Schnittkraft
2-Feldträger		$R_{A,s,d}$ $R_{B,s,d}$ $M_{F,s,d}$ $M_{B,s,d}$
3-Feldträger		$M_{B,s,d}$ $R_{B,s,d}$
3-Feldträger		$M_{F,s,d}$ $R_{A,s,d}$
4-Feldträger und 5-Feldträger		$M_{B,s,d}$ $R_{B,s,d}$
4-Feldträger und 5-Feldträger		$M_{F,s,d}$ $R_{A,s,d}$

Tabelle 1 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination

## 6.1.2.2 Schnittkraftermittlung für abhebende Lastfallkombination

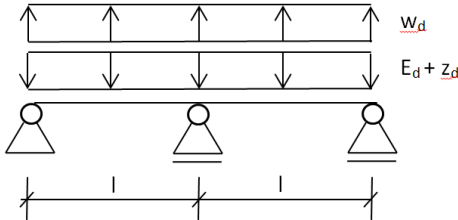
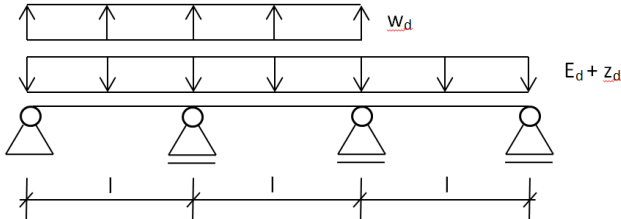
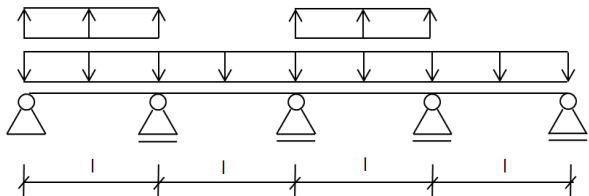
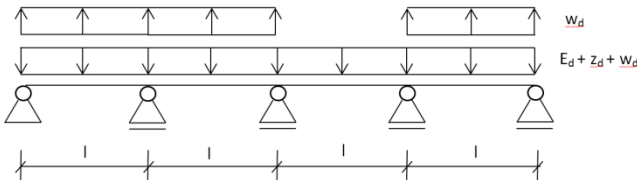
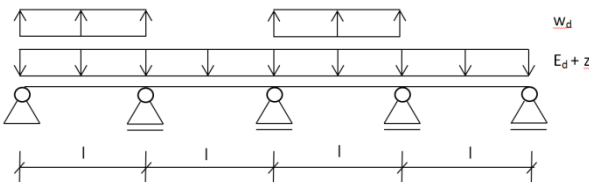
	Laststellung	Schnittkraft
2-Feldträger		$R_{A,s,d}$ $R_{B,s,d}$ $M_{F,s,d}$ $M_{B,s,d}$
3-Feldträger		$M_{B,s,d}$ $R_{B,s,d}$
3-Feldträger		$M_{F,s,d}$ $R_{A,s,d}$
4-Feldträger und 5-Feldträger		$M_{B,s,d}$ $R_{B,s,d}$
4-Feldträger und 5-Feldträger		$M_{F,s,d}$ $R_{A,s,d}$

Tabelle 2 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination

Gleichungen:

$$R_{A,s,d} = n * q * l \qquad R_{B,s,d} = n * q * l$$

$$M_{B,s,d} = n * q * l^2 \qquad M_{F,s,d} = n * q * l^2$$

n-Faktor:

andrückend		$E_d + z_d + w_d$	$s_d$
abhebend		$E_d + z_d$	$w_d$
2-Feldträger	$R_{A,s,d}$	0,375	0,375
	$R_{B,s,d}$	1,25	1,25
	$M_{F,s,d}$	-0,125	-0,125
	$M_{B,s,d}$	0,07	0,096
3-Feldträger	$R_{A,s,d}$	0,4	0,45
	$R_{B,s,d}$	1,1	1,2
	$M_{F,s,d}$	0,08	0,101
	$M_{B,s,d}$	-0,1	-0,117
4-Feldträger und 5-Feldträger	$R_{A,s,d}$	0,393	0,446
	$R_{B,s,d}$	1,143	1,223
	$M_{F,s,d}$	0,077	0,10
	$M_{B,s,d}$	-0,107	-0,121

**Tabelle 3 n-Faktoren**

Bei der Berechnung der Schnittgrößen können nur konstante Streckenlasten angenommen werden. Die dafür notwendigen Teilsicherheitsbeiwerte werden programmintern berücksichtigt (Tabelle 4). Die Schnittgrößen werden immer mit der ungünstigsten Laststellung für das jeweilige System berechnet.

Andrückende Laststellung/Lastfallkombination (Tabelle 1)

$q$  = Eigenlast + Zusatzlast + Schnee + Winddruck

### Andrückende Laststellung/Lastfallkombination (Tabelle 2)

$q = \text{Eigenlast} + \text{Zusatzlast} + \text{Windsog}$

Bei der Wahl des statischen Systems sind 2-Feldträger bis 5-Feldträger möglich. Aufgrund der geringen Abweichungen zwischen 4-Feldträger und 5-Feldträger sind diese beiden Laststellungen identisch und für die Bemessung ausreichend genau (Tabelle 1 und Tabelle 2).

	Teilsicherheitsbeiwert/ Kombinationsbeiwert
Ständige Lasten	1,35
Veränderliche Lasten	1,5
Ständige Lasten bei abhebender Laststellung	1,0
Kombinationsbeiwert Wind	0,6

**Tabelle 4 Teilsicherheitsbeiwerte**

#### 6.1.2.3 Nachweise

Die Nachweise erfolgen mit den maximalen Schnittgrößen. Im Programm sind die maximalen Schnittgrößen mit den jeweils maximalen Feldlängen hinterlegt, diese werden ermittelt und mit der vorhandenen Feldlänge verglichen bzw. dividiert. (Abbildung

6.6)

$$\frac{\text{vorhandene Feldlänge}}{\text{maximale Feldlänge}} < 1,0$$

NACHWEISE			
max.Feldlänge [m]	3,44	58,3%	OK
vorh.Feldlänge [m]	2,00		
max.Feldlänge [m]	8,79	22,8%	OK
vorh.Feldlänge [m]	2,00		

**Abbildung 6.6 Nachweise Sandwichpaneel**

### 6.1.3 Pfettenbemessung

Die Wahl des Pfettenprofils erfolgt in der dritten Eingabemaske. Als Pfetten kommen Z-Leichtbaupfetten vom Hersteller Schrag in der Materialgüte S 320 GD nach DIN EN 10346 zum Einsatz. Zur Wahl stehen Z-Pfetten von Z140-15 bis Z280-40. Außerdem kann das statische System von Einfeldträger auf Mehrfeldträger sowie die Materialgüte zwischen S320 und S380 gewählt werden. Die Nachweise werden wie gewohnt in den grau hinterlegten Feldern angezeigt. (Abbildung 6.7)

#### Pfettenbemessung

EINGABE			
1. Profil:	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Z240-20</div>		
2. statisches System:	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Mehrfeld</div>		
3. Materialgüte:	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">380</div>		
3. Abmessungen:	Feldlänge:	6,00	m
4. Einwirkungen:	andrückend:	5,53	KN/m
	abhebend:	-3,60	KN/m
	Auflagerkraft P:	33,72	KN
5. Verformungsgrenze:	L/200		

NACHWEISE andrückend			
vorh. q=	5,53	86,4%	OK
max. q=	6,4		

NACHWEISE abhebend			
vorh. q=	-3,60	64,5%	OK
max. q=	5,59		

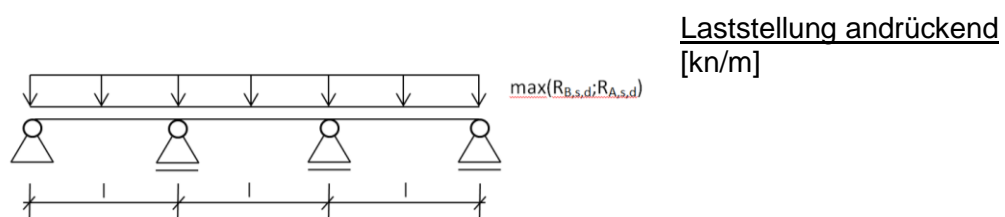
Zurück

WEITER zu "Rahmen"

Abbildung 6.7 Ausgabe Pfettenbemessung

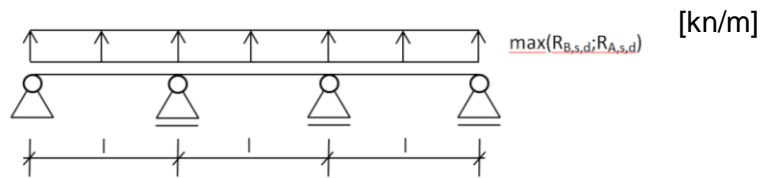
#### Schnittgrößenermittlung

Die Schnittgrößenberechnung schlussfolgert sich aus vorangegangener Sandwichbemessung. Die maximalen Auflagerkräfte  $R_{A,s,d}$  bzw.  $R_{B,s,d}$  der Sandwichbemessung im andrückenden und abhebenden Lastfall sind hier zugleich die konstanten Streckenlasten plus das jeweilige Eigengewicht der gewählten Pfette für die Pfettenbemessung. Der Dachschub wird wegen der geringen Dachneigung vernachlässigt. Normalkräfte finden in der Bemessung ebenfalls keine Beachtung.





### Laststellung abhebend



### Nachweise

Die Nachweise erfolgen mit den maximalen Schnittgrößen. Im Programm ist die maximale Last  $q$  mit der jeweiligen Feldlänge hinterlegt, diese wird automatisch ermittelt und mit der Last  $q$  verglichen bzw. dividiert. (Abbildung 6.8 und Formel 5)

$$\frac{\text{vorhanden } q}{\text{maximal } q} < 1,0$$

Formel 5

NACHWEISE andrückend			
vorh. q=	5,53	86,4%	OK
max.q=	6,4		

NACHWEISE abhebend			
vorh. q=	-3,60	64,5%	OK
max.q=	5,59		

**Abbildung 6.8 Nachweise Pfetten**

### 6.1.4 Rahmenbemessung

Die Rahmenbemessung erfolgt in der vierten Oberfläche. Gewählt werden Riegel bzw. Stützenprofile in den Profilklassen IPE, HEA und HEB nach DIN EN 10025 in der oberen Hälfte des Bildschirms. Die Nachweise erfolgen ebenfalls getrennt für Riegel, Stütze und einen Spannungsnachweis für die Voute. (Abbildung 6.9)

#### Rahmenbemessung

##### EINGABE

1. Abmessungen:

Traufhöhe:

5,9

m

Spannweite:

18

m

2. Profil:

Riegel:

IPE

360

Stütze:

IPE

450

3. Einwirkungen:

q,d,ersatz:

11,10

KN/m (EG<sub>Riegel</sub>+EG<sub>Sandwich</sub>+EG<sub>Platten</sub>+Schnee)

4. Lastfallkombination:

1,35\*EG + 1,5\* Schnee

Zurück

WEITER zu "Kosten"

##### NACHWEISE

Riegel	BDK + BK	y-Achse	76,6%	OK	EUROCODE 3	Querschnittsklasse	1	
		z-Achse	82,0%	OK		Momententragfähigkeit	68,2%	OK
						Querkraft	18,1%	OK
	Spannungsnachweis	Vergleichsspannung	87,8%	OK		Normalkraft	2,6%	OK

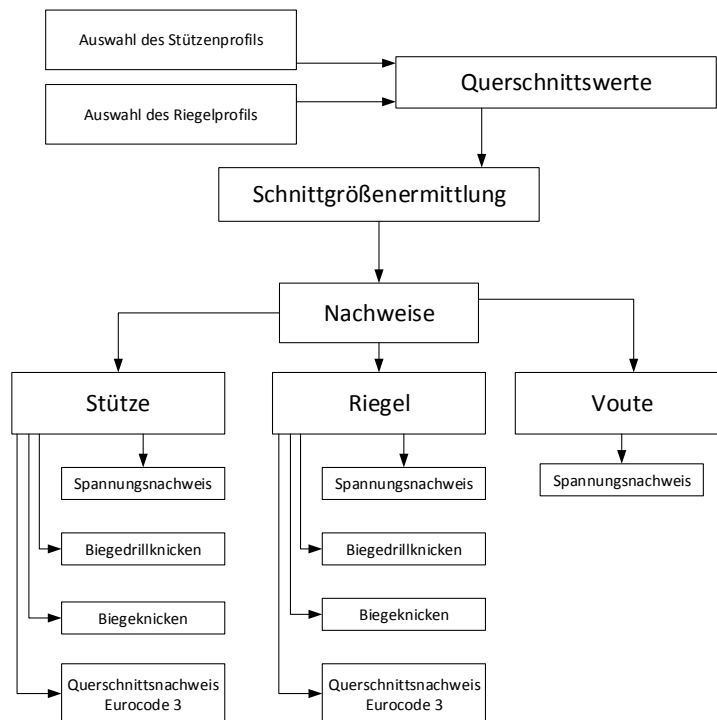
Stütze	BDK + BK	y-Achse	61,1%	OK	EUROCODE 3	Querschnittsklasse	1	
		z-Achse	90,4%	OK		Momententragfähigkeit	60,2%	OK
						Querkraft	6,0%	OK
	Spannungsnachweis	Vergleichsspannung	80,7%	OK		Normalkraft	4,6%	OK

Voute	Spannungsnachweis	Normalspannungen	55,7%	OK
-------	-------------------	------------------	-------	----

Abbildung 6.9 Rahmenbemessung

### 6.1.4.1 Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung



**Abbildung 6.10 Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung**

Die Rahmennachweise erfolgen nach der aktuell gültigen Norm DIN EN1993 (Eurocode 3). Als statisches System fungiert ein Zweigelenkrahmen mit gelenkiger Lagerung im Fußpunkt und biegesteifen Ecken im Rahmen. Stabilitätsnachweise für Stütze und Riegel werden nach dem Ersatzstabverfahren mit dem kombinierten Nachweis Biegedrillknicken und Biegeknicken nach DIN EN 1993-1-1/6.3.3 durchgeführt. Die Querschnitts- bzw. Spannungsnachweise erfolgen nach DIN EN 1993-1-1,6.2.10, die Voute mit einem Vergleichsspannungsnachweis.

### 6.1.4.2 Eingabe Rahmen

Abbildung 6.11 zeigt die möglichen Eingaben für die Rahmenbemessung: Spannweite, Achsraster, Traufhöhe, Rieglprofil und Stützenprofil.

Die zur Bemessung des Rahmens erforderliche Last  $q_{\text{Ersatz}}$  ergibt sich aus den zuvor ausgewählten Eingabemasken Sandwich- und Pfettenbemessung.

EINGABE										
1. Abmessungen:	<table border="1"> <tr> <td>Traufhöhe:</td> <td>7,5</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Spannweite:</td> <td>20</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>Raster:</td> <td>6</td> <td>m</td> </tr> </table>	Traufhöhe:	7,5	m	Spannweite:	20	m	Raster:	6	m
Traufhöhe:	7,5	m								
Spannweite:	20	m								
Raster:	6	m								
2. Profil:	<table border="1"> <tr> <td>Riegel:</td> <td>IPE</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Stütze:</td> <td>IPE</td> <td>500</td> </tr> </table>	Riegel:	IPE	500	Stütze:	IPE	500			
Riegel:	IPE	500								
Stütze:	IPE	500								
3. Einwirkungen:	<table border="1"> <tr> <td>q,d,ersatz:</td> <td>11,33</td> <td>KN/m (EG<sub>Riegel</sub>+EG<sub>Sandwich</sub>+EG<sub>Pfetten</sub>+Schnee)</td> </tr> </table>	q,d,ersatz:	11,33	KN/m (EG <sub>Riegel</sub> +EG <sub>Sandwich</sub> +EG <sub>Pfetten</sub> +Schnee)						
q,d,ersatz:	11,33	KN/m (EG <sub>Riegel</sub> +EG <sub>Sandwich</sub> +EG <sub>Pfetten</sub> +Schnee)								
4. Lastfallkombination:	1,35*EG + 1,5* Schnee									

**Abbildung 6.11 Eingabe Rahmen**

$$q_{d,Ersatz} = \frac{(n-1) * P}{\frac{l_{Riegel}}{2}} + \gamma_G * E_{g,Riegel}$$

$n$  = Pfettenanzahl pro Dachseite

$\gamma_G = 1,35$

$P$  = Pfettenauflagerkraft

$E_{g,Riegel}$  = Eigengewicht Riegel

$l_{Riegel}$  = Länge Riegel

Mit der ermittelten Ersatzlast, welche der folgenden Lastfallkombination entspricht lassen sich die Schnittgrößen mit Hilfe der Rahmenformeln nach Kleinlogel/Haselbach ermitteln.

$$LFK: \gamma_G * E_{g,Dachaufbau} + \gamma_Q * z_{k,Installation} + \gamma_Q * s_k + \gamma_Q * \psi_0 * w_{Druck}$$

$$LFK: 1,35 * E_{g,Dachaufbau} + 1,5 * z_{k,Installation} + 1,5 * s_k + 1,5 * 0,6 * w_{Druck}$$

### 6.1.4.3 Schnittgrößenermittlung

Vorwerte:

LFK	1	q=	11,33	KN/m
		l=	20,0	m
Festwerte:	$k = (I_2/I_1) \cdot (h/s)$ $\varphi = f/h$ $m = 1 + \varphi$ $B = 2 \cdot (k+1) + m$ $C = 1 + 2 \cdot m$ $N = B + m \cdot C$ $f = \text{first-traufhöhe}$			
			0,74897215	
			0,06997293	
			1,06997293	
			4,56791724	
			3,13994587	
			7,92757433	
			0,525	3° Dachneigung
				0,05235988
VA	122,45	KN		
HA	39,77	KN		
VB	122,45	KN		
HB	39,77	KN		
MC	-298,26	KNm	Mcvoute,u	-268,44 KNm
MD	247,22	KNm	mittels Funktion BDK Stütze	
ME	-298,26	KNm	Mcvoute,v	-98,55 KNm
			mittels Superpositionsgesetz BDK Riegel	

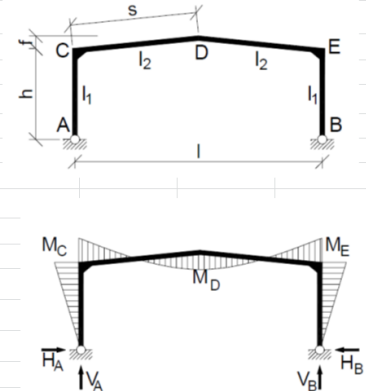


Abbildung 6.12 Schnittgrößenermittlung

### 6.1.4.4 Kombiniertes Nachweis Biegeknicken + Biegedrillknicken Stütze

#### 1. Bestimmung $\beta$ :

Knicklänge z – Achse:  $L_{cr,z} = l_s$

Knicklänge y – Achse:  $L_{cr,y} = \beta \cdot l_s$

$l_b$  = Spannweite [m]

$l_s$  = Traufhöhe [m]

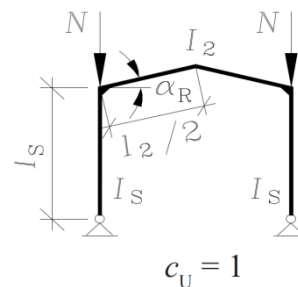
$I_2 = I_y$  Riegelprofil [cm<sup>4</sup>]

$I_s = I_y$  Stützenprofil [cm<sup>4</sup>]

$C_u = 1$  (da gelenkige Lagerung im Fußpunkt)

$$C_o = \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{I_b \cdot l_s}{I_s \cdot l_b}}$$

→  $\beta$  bestimmen nach Abbildung 6.13



Tafel 8.56 Knicklängenbeiwerte  $\beta$  der Stiele verschieblicher Rahmen mit  $\epsilon_{\text{Riegel}} \leq 0,3$

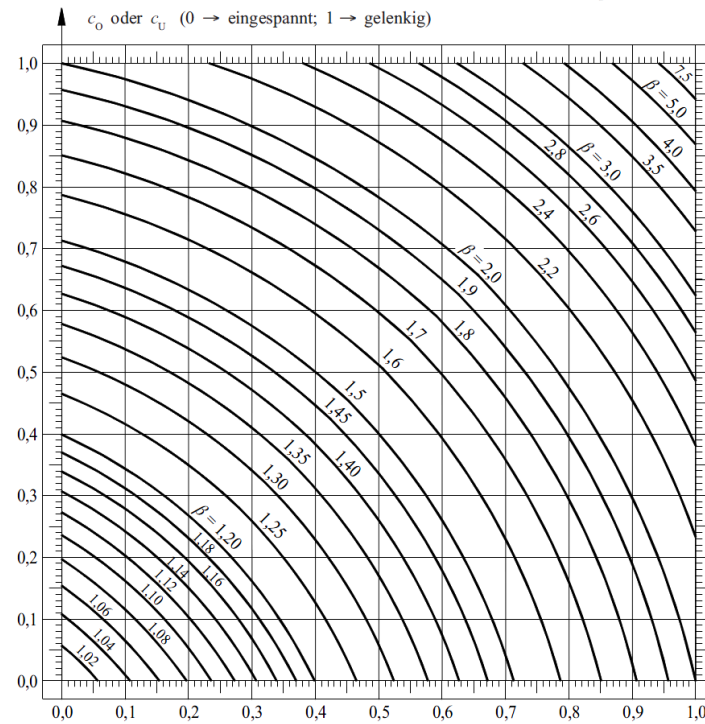


Abbildung 6.13 Knicklängenbeiwerte

$$\rightarrow L_{cr,z} = l_s$$

$$\rightarrow L_{cr,y} = \beta^* l_s$$

### 2. Werte für BK um die **y**-Achse

Vorwerte:

$\lambda_1$  [Materialgüte]

$i_y$  [cm]

$A$  [cm<sup>2</sup>]

$L_{cr,y}$  [cm]

Bestimmung der Knicklinie für y-y

Tabelle 3.7: Zuordnung der Querschnitte zu den Knickspannungslinien

	Querschnitt	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie	
				S235 S275 S355 S420	S460
gewalzte I-Querschnitte		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a	a <sub>0</sub>
			z-z	b	a <sub>0</sub>
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b	a
			z-z	c	a
		$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b	a
			z-z	c	a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d	c
			z-z	d	c
geschweißte I-Querschnitte		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	b	b
			z-z	c	c
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y	c	c
			z-z	d	d
Hohlquerschnitte		warmgefertigt	jede	a	a <sub>0</sub>
		kaltgefertigt	jede	c	c
geschweißte Kastenquerschnitte		allgemein (außer in den Fällen der nächsten Zeile)	jede	b	b
		dicke Schweißnähte $a > 0,5 t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	jede	c	c
U-, T- und Vollquerschnitte			jede	c	c
L-Querschnitte			jede	b	b

Abbildung 6.14 Knickspannungslinien

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr} y}{\lambda_1 * i_y}$$

$$\phi_y = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} < 1$$

### 3. Werte für BK um die **z**-Achse

Vorwerte:

 $\lambda_1$  [Materialgüte]

 $i_z$  [cm]

A [cm<sup>2</sup>]

$L_{crz}$  [cm]

Bestimmung der Knicklinie für z-z

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{crz}}{\lambda_1 * i_z}$$

$$\phi_z = 0,5 * \left( 1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} < 1$$

### Werte für BDK

Vorwerte:

$I_z$  [cm<sup>4</sup>]

$I_T$  [cm<sup>4</sup>]

$I_w$  [cm<sup>6</sup>]

$W_{y,pl}$  [cm<sup>3</sup>]

$z_p$  [cm]

Knicklinie → h/b (Tabelle 7)

**Tabelle 6.5.** Empfohlene Biegedrillknicklinien nach Gleichung (6.57)

Querschnitt	Grenzen	Biegedrill- knicklinien
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

### Tabelle 5 Zuordnung der Knicklinien

$\alpha_{LT}$  (Tabelle 8)

Knicklinie	a	b	c	d
Imperfektions- beiwert $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

### Tabelle 6 Imperfektionsbeiwerte



Tafel 8.34a Momentenbeiwert  $\zeta$ 

Momentenverlauf	$\zeta$
	1,0
	1,12
	1,35
$\psi M_{\max}$ $M_{\max}$ $-1 \leq \psi \leq 1$	$1,77 - 0,77 \cdot \psi$
$0,56 M_{\max}$ $M_{\max}$	2,25
	1,35

Momentenverteilung	$k_c$
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33 \psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Tabelle 8 Momentenbeiwerte  $\zeta$ 

Tabelle 7 Korrekturbeiwerte  $k_c$ 
 $k_c$ 
 $z_p$  [cm]

 $\alpha_{LT}$ 
 $\psi$ 

$$\zeta = 1,77 - 0,77 \cdot \psi$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \psi}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} \quad [kN]$$

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} \quad [cm^2]$$

$$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr,z} \cdot \left[ \sqrt{c^2 + 0,25 \cdot (z_p)^2} + 0,5 \cdot z_p \right] \quad [KNcm]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + 0,75 \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - 0,75 \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \begin{cases} < 1 \\ < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[ 1 - 2 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$$

$$N_{R,k} = f_y * A$$

[kN]

$$C_{my} = 0,6 * 0,4 * \psi \geq 0,4 = 0,6 = C_{mLT}$$

$$k_{yy} = C_{my} * \left( 1 + \frac{(\bar{\lambda}_y - 0,2) * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right) \leq C_{my} * \left( 1 + \frac{0,8 * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right)$$

Nachweis **Y**-Achse

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{m1}} + k_{yy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LTmod} * M_{y,Rk}/\gamma_{m1}} \leq 1$$

$$k_{zy} = \left( 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right)$$

Nachweis **Z**-Achse

$$\frac{N_{ED}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} + k_{zy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LTmod} * M_{y,Rk}/\gamma_{m1}} \leq 1$$

Kombinierter Nachweis Biegeknicken + Biegedrillknicken Riegel

**1. Bestimmung  $\beta$ :**

Knicklänge z – Achse:  $L_{cr,z}$  = Druckrohrabstand

Knicklänge y – Achse:  $L_{cr,y}$  = Druckrohrabstand

$l_b$  = Spannweite [m]

$l_s$  = Traufhöhe [m]

$I_2 = I_y$  Riegelprofil [cm<sup>4</sup>]

$I_s = I_y$  Stützenprofil [cm<sup>4</sup>]

$\rightarrow \beta = 1$

**2. Werte für BK um die **y**-Achse**

Vorwerte:

$\lambda_1$  [Materialgüte]

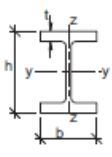
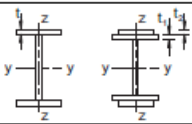
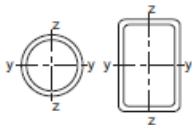
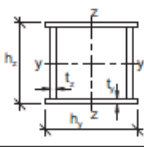
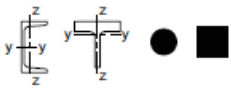

$i_y$  [cm]

$A$  [cm<sup>2</sup>]

$L_{cr,y}$  [cm]

Bestimmung der Knicklinie für y-y

Tabelle 3.7: Zuordnung der Querschnitte zu den Knickspannungslinien

Querschnitt	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie	
			S235 S275 S355 S420	S460
gewalzte I-Querschnitte 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a	a <sub>0</sub>
		z-z	b	a <sub>0</sub>
	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b	a
		z-z	c	a
	$h/b \leq 1,2$	y-y	b	a
		z-z	c	a
	$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d	c
		z-z	d	c
geschweißte I-Querschnitte 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	b	b
		z-z	c	c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y	c	c
		z-z	d	d
Hohlquerschnitte 	warmgefertigt	jede	a	a <sub>0</sub>
	kaltgefertigt	jede	c	c
geschweißte Kastenquerschnitte 	allgemein (außer in den Fällen der nächsten Zeile)	jede	b	b
	dicke Schweißnähte $a > 0,5 t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	jede	c	c
U-, T- und Vollquerschnitte 		jede	c	c
L-Querschnitte 		jede	b	b

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr} y}{\lambda_1 \cdot i_y}$$

$$\phi_y = 0,5 * \left( 1 + \alpha * (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} < 1$$

### 3. Werte für BK um die **z**-Achse

Vorwerte:

$\lambda_1$  [Materialgüte]

$i_z$  [cm]

$A$  [cm<sup>2</sup>]

$L_{cr z}$  [cm]

### Bestimmung der Knicklinie für z-z

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{crz}}{\lambda_1 * i_z}$$

$$\phi_z = 0,5 * \left( 1 + \alpha * (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} < 1$$

### Werte für BDK

Vorwerte:

$I_z$  [cm<sup>4</sup>]

$I_T$  [cm<sup>4</sup>]

$I_w$  [cm<sup>6</sup>]

$W_{y,pl}$  [cm<sup>3</sup>]

$z_p$  [cm]

Knicklinie → h/b (Tabelle 7)

**Tabelle 6.5.** Empfohlene Biegedrillknicklinien nach Gleichung (6.57)

Querschnitt	Grenzen	Biegedrill-knicklinien
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

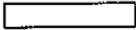


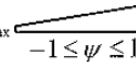
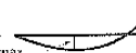
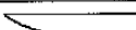
### Tabelle 9 Zuordnung der Knicklinien

$\alpha_{LT}$  (Tabelle 8)

Knicklinie	a	b	c	d
Imperfektions-beiwert $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

### Tabelle 10 Imperfektionsbeiwerte

Tafel 8.34a Momentenbeiwert  $\zeta$ 

Momentenverlauf	$\zeta$
	1,0
	1,12
	1,35
$\psi M_{\max}$  $M_{\max}$ $-1 \leq \psi \leq 1$	$1,77 - 0,77 \cdot \psi$
$0,56 M_{\max}$  $M_{\max}$	2,25
	1,35






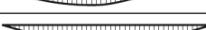


Momentenverteilung	$k_c$
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33 \psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Tabelle 12 Momentenbeiwerte  $\zeta$ Tabelle 11 Korrekturbeiwerte  $k_c$  $k_c$  $z_p$  $\zeta$  $\psi$ 

$$\zeta = 1,77 - 0,77 \cdot \psi$$

$$k_c = \frac{1}{1,33 - 0,33 \cdot \psi}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} \quad [kN]$$

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} \quad [cm^2]$$

$$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr,z} \cdot \left[ \sqrt{c^2 + 0,25 \cdot (z_p)^2} + 0,5 \cdot z_p \right] \quad [KNcm]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + 0,75 \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - 0,75 \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \begin{cases} < 1 \\ < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$f = 1 - 0,5 \cdot (1 - k_c) \cdot \left[ 1 - 2 \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f}$$

$$N_{R,k} = f_y * A \quad [kN]$$

$$C_{my} = 0,6 * 0,4 * \psi \geq 0,4 = 0,6 = C_{mLT}$$

$$k_{yy} = C_{my} * \left( 1 + \frac{(\bar{\lambda}_y - 0,2) * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right) \leq C_{my} * \left( 1 + \frac{0,8 * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right)$$

Nachweis **Y**-Achse

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk}/\gamma_{m1}} + k_{yy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LTmod} * M_{y,Rk}/\gamma_{m1}} \leq 1$$

$$k_{zy} = \left( 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right) \geq \left( 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right)$$

Nachweis **Z**-Achse

$$\frac{N_{ED}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} + k_{zy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LTmod} * M_{y,Rk}/\gamma_{m1}} \leq 1$$

### 6.1.4.5 Querschnittsnachweis Stütze und Riegel

Um die Querschnittsnachweise führen zu können, muss vorher für das jeweilige Profil die Einteilung in die Querschnittsklasse erfolgen. Dies erfolgt durch die Grenzwerte  $c/t$  für Trägersteg und Trägergurt nach DIN EN 1993-1-1, Tab.5.2. Die Ermittlung dieser Werte geschieht in Abhängigkeit der Querschnittsform, Stahlfestigkeit sowie Spannungsverteilung im Profil. (Abbildung 6.15)

#### Querschnittsklassifizierung Algorithmus

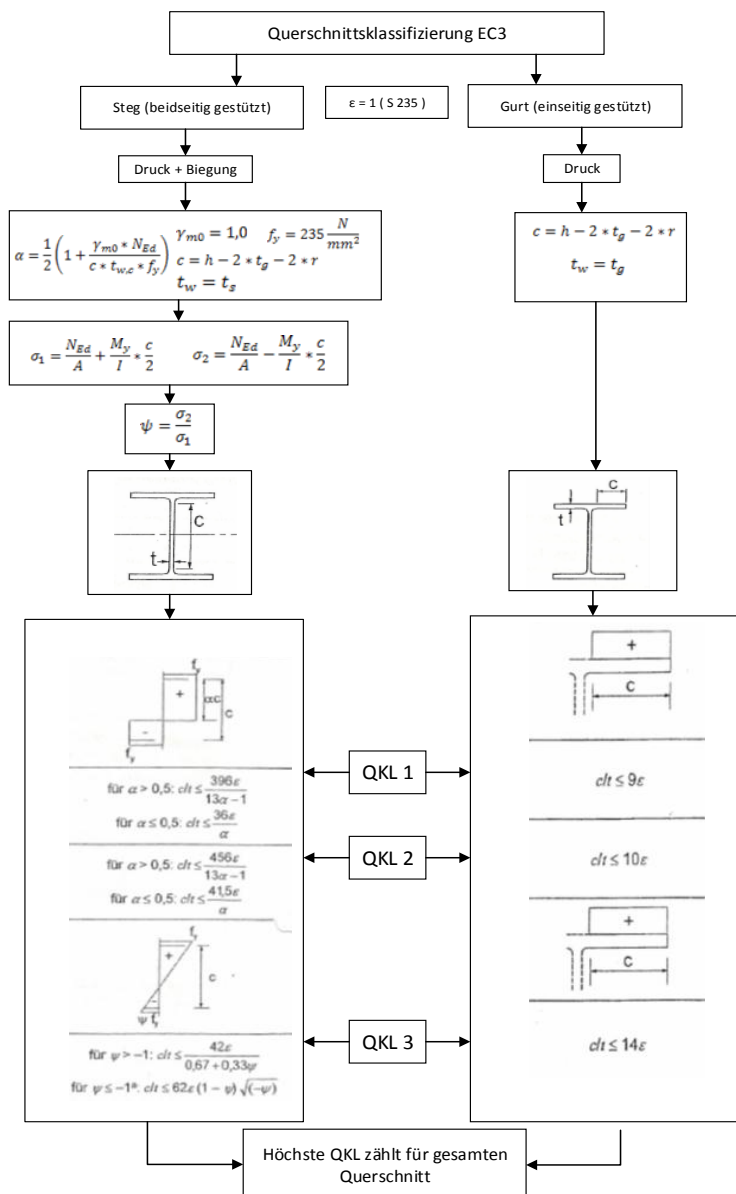


Abbildung 6.15 Querschnittsklassifizierung EC3



Die Querschnittsnachweise werden nach der DIN EN 1993-1-1, 6.2.10 für Beanspruchungen aus einachsiger Biegung, zugehöriger Querkraft und Normalkraft durchgeführt. (Abbildung 6.16)

### Querschnittsnachweise Algorithmus

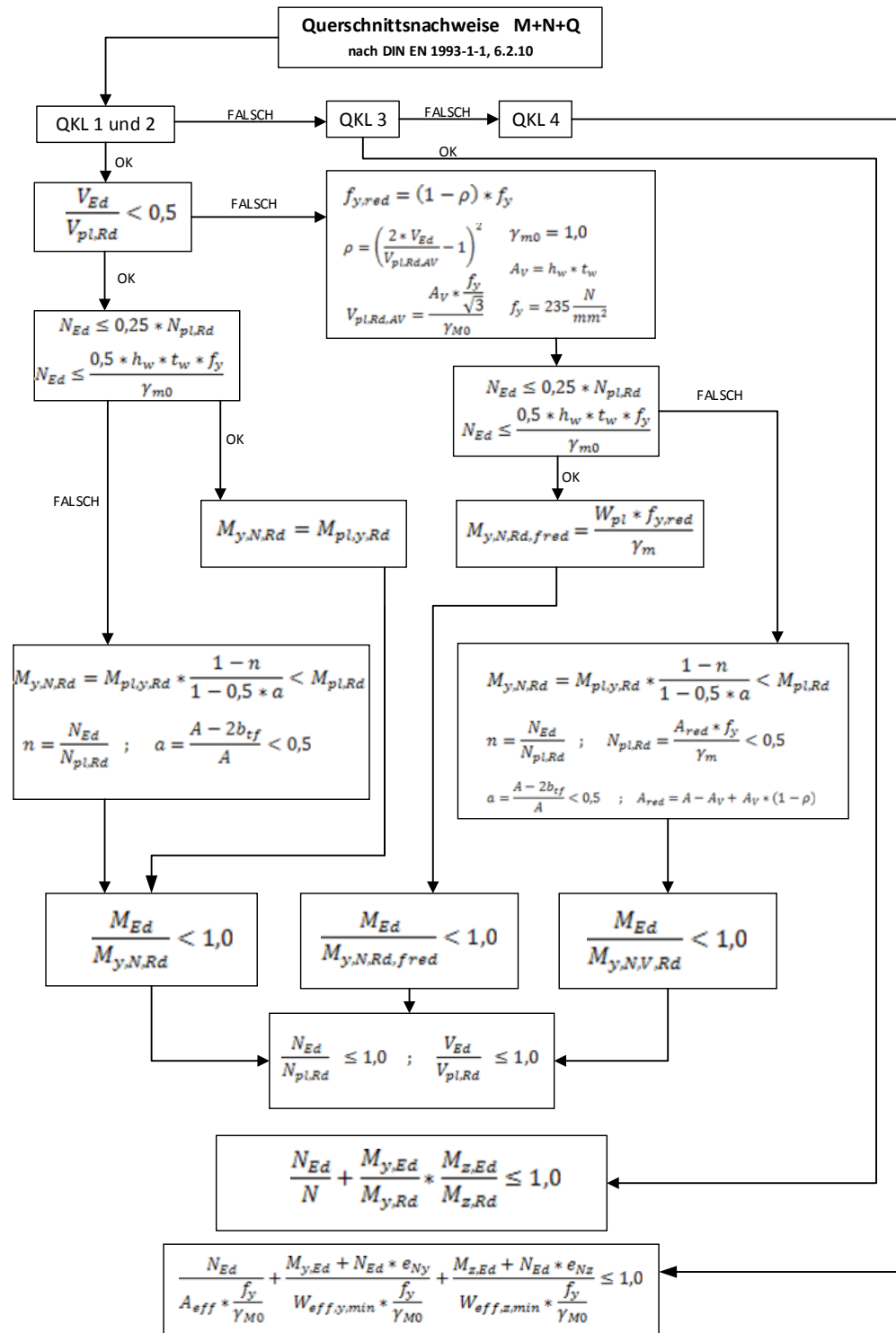


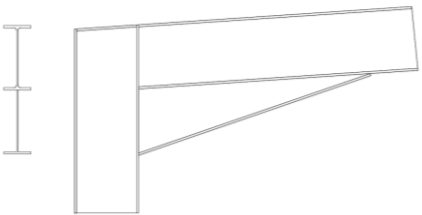
Abbildung 6.16 Querschnittsnachweise EC3

## 6.1.4.6 Voutenberechnung

Die Voute wird mit einem allgemeinen Spannungsnachweis am Voutenanfang (Übergang Stütze-Voute) nachgewiesen.

Die Voutengeometrie passt sich programmintern automatisch an das ausgewählte Riegelgrundprofil an. Die Voutenlänge beträgt 1/10 der Rahmenspannweite. Die Voutenhöhe ergibt sich aus der doppelten Höhe des Riegelgrundprofils. Stegdicke sowie Gurtdicken der Voute werden ebenfalls automatisch so gewählt, dass diese nahe an den Materialdicken des Grundprofils liegen und dennoch realistisch bestellbare und bearbeitbare Größen sind. Des Weiteren folgt im Programm die Neuberechnung des Gesamtschwerpunktes und des Flächenträgheitsmoments 2.Ordnung des Voutenprofils.

Beispiel:

	Grundprofil IPE450	Voutenteil	
h	450	450	
b	190	190	
t <sub>s</sub>	9,4	10	
t <sub>g</sub>	14,6	15	

**Tabelle 13 Beispiel Voute**

$$s_{neu} = \frac{A_{Riegel} * s_{Riegel} + (t_g * b) * s_g + (t_s * h_v) * s_v}{A_{Riegel} + (t_g * b) + (t_s * h_v)}$$

$$I_{y,Voute} = \left( I_{Riegel} + A_{Riegel} * (s_{Voute} - s_{Riegel})^2 \right) + \left( I_{Gurt,v} + A_{Gurt,v} * (s_{Voute} - s_{Gurt})^2 \right) + \left( I_{Steg,v} + A_{Steg,v} * (s_{Voute} - s_{Steg})^2 \right)$$

Spannungsberechnung:

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$$\sigma = \frac{N}{A_{Voute}} + \frac{MC}{I_{y,Voute}} * \frac{h_{Voute}}{2}$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} < 1,0$$

## 6.1.5 Materialkosten

In der letzten Programmoberfläche findet sich die Kostenübersicht. Hier werden die Materialkosten für Stahlbau und Hüllkonstruktion dargestellt und zusammengefasst. Die Kosten für die Hüllkonstruktion unterteilen sich in Sandwichpaneele für Dach und Wand, Pfetten und Wandriegel, Kantteile für First und Traufe, die Stahlbaukosten in den Rahmen, Vouten, Verbände und die Druckrohre (pro Verbandsfeld). Abschließend kann eine Hallenlänge angegeben werden und die Kosten werden dementsprechend angepasst. (Abbildung 6.17)

Bauvorhaben:      Beispielrechnung	
------------------------------------	--

Hallenlänge [m]:	6
Anzahl Rahmen:	1

Stahl							
	Profil	Masse pro Rahmen [t]	Anzahl	[t]	Masse Gesamt [t]	Stahlpreis €/kg	Gesamt €
Rahmen	Riegel IPE400 Stütze IPE450	2,08	1	2,08	3,06	0,7	2.309,59 €
Vouten			2	0,10			
Druckrohr	RO101,6*4,0		10	0,60			
Verbände	RD20		16	0,27			
						Faktor [%] <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; display: inline-block;">8 ▼</div>	

Sandwich					
	Fläche pro Raster [m²]	RWA / Lichtkuppeln	Fläche Gesamt [m²]	€/m²	Gesamt €
Dach	130,16	0,00	130,16	27,1 €	3.527,5 €

	Fläche pro Raster [m²]	Fenster Türen Tore	Fläche Gesamt [m²]	€/m²	Gesamt €
Wand	58,20	0,00	58,20	24,2 €	1.405,5 €

Kantteile				
	Bauteil	lfd.m Gesamt [m]	€/lfd.m	Gesamt €
Dach	Traufe , First	18,00	15,0 €	270,0 €
	Lichtbänder	0,00		
Wand	Tropfkanten,Eckprofile,Einfassungen		10,0 €	0,0 €
	Fenster, Türen , Tore			

Pfetten/Wandriegel				
	Profil	lfd.m Gesamt [m]	€/lfd.m	Gesamt €
Pfetten	Z260-25	48	10,8 €	518,4 €
	Anzahl pro Seite	lfd.m Gesamt [m]	€/lfd.m	Gesamt €
Wandriegel	3 ▼	36	8,5 €	306,0 €
	EXTRA Türen und TORE	0		

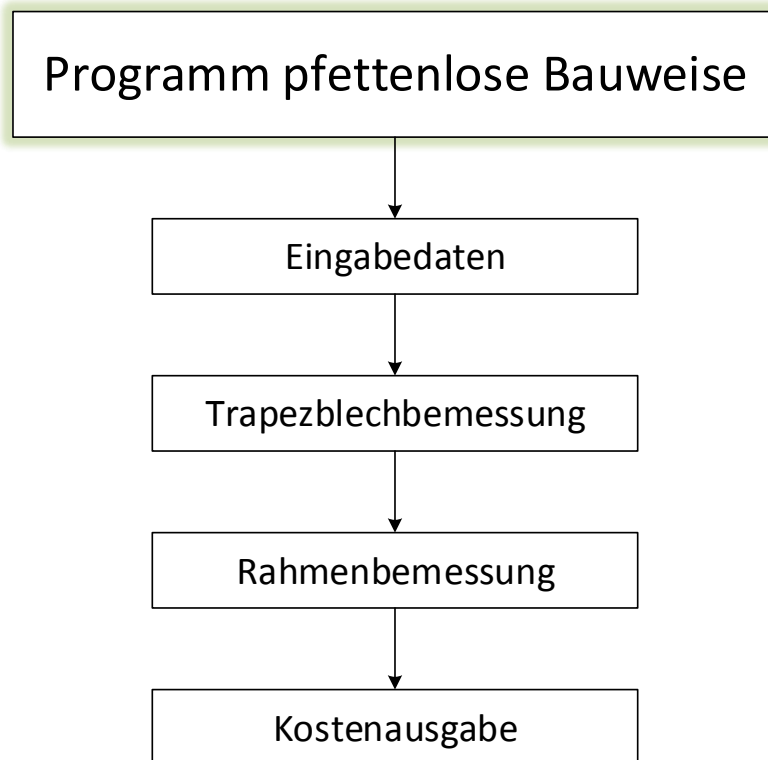
Gesamtpreis	
Stahlbau	2.309,59 €
Hüllkonstruktion	6.027,39 €

Gesamtkosten	8.336,98 €
--------------	------------

Abbildung 6.17 Kostenausgabe

## 6.2 Programm pfettenlose Bauweise mit Tragschale



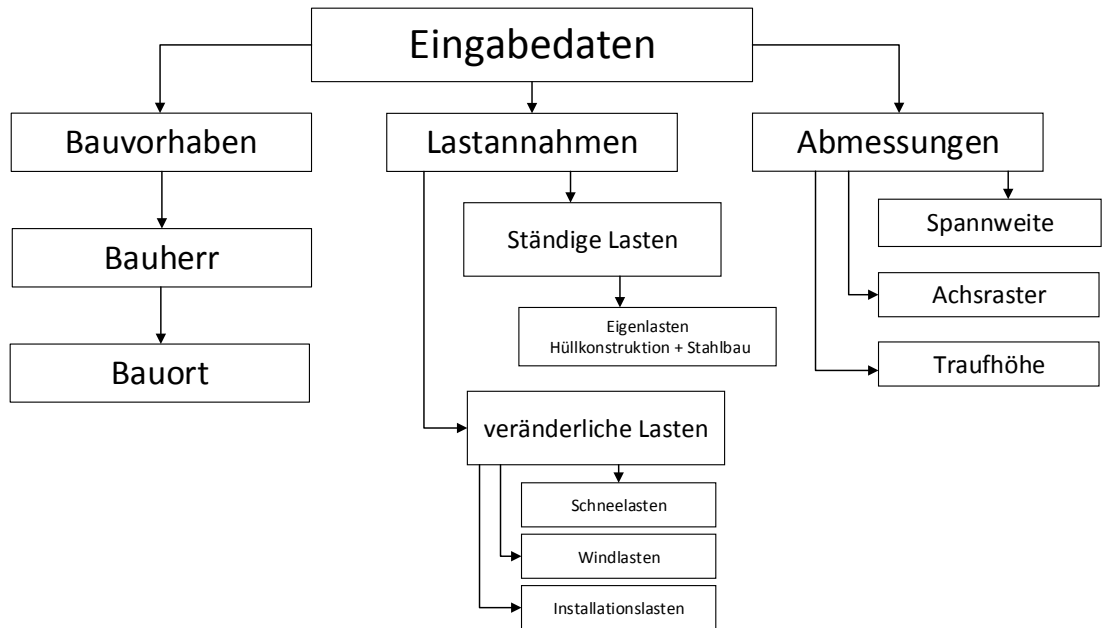
**Abbildung 6.18 Programm pfettenlose Bauweise**

Mit diesem Programm lassen sich die Kosten für Stahlbau und Hüllkonstruktionen statisch und kalkulatorisch erfassen.

Das Programm besteht aus vier Hauptfeldern, der Eingabemaske, Trapezblechbemessung, Rahmenbemessung und der Kostenausgabe. Diese Hauptfelder wurden als einzelne Oberflächen im Programm umgesetzt, welche nacheinander abgearbeitet werden müssen. Die Programmoberflächen wurden nach der gleichen Optik wie im Programm für das Pfettendach (6.1) dargestellt.

Es wurde darauf geachtet, dass die Reihenfolge dem Dachaufbau ab Oberkante Dach entspricht.

### 6.2.1 Eingabemaske



**Abbildung 6.19 Eingabedaten**

In der Eingabemaske lassen sich alle Vorwerte, wie Bauort, Schneelasten, Windlasten, Spannweite, Achsraster und Traufhöhe eingeben. (Abbildung 6.18 und Abbildung 6.19)

The screenshot shows the title 'Programm zur Kalkulation von Hallen mit pfettenloser Dachkonstruktion'. Below the title is a table for input fields:

Bauvorhaben:	
Bauherr:	
Bauort:	

At the bottom left, it says 'Herausgeber: Toni Zeilmann SM10w1-B' and 'Stand: 08.07.2014'. At the bottom right is a 'START' button.

**Abbildung 6.20 Deckblatt pfettenlose Bauweise**

Eingabedaten	
Spannweite [m] :	23
Traufhöhe [m]:	7,2
Raster [m]:	6
Schneelast $s$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,76
Windlasten:	
Windruck WD	0,1
Windsog WS	-0,7
Dacheindeckung Gk	0,17
Zusatzlast	0

**WEITER zu "Trapezblech"**

**Abbildung 6.21 Eingabedaten**

## 6.2.2 Trapezblechbemessung

In der zweiten Eingabemaske werden alle notwendigen Parameter zu dem Trapezblech eingegeben. Dies beinhaltet die Wahl des Profils vom Profil Hoesch T100.1 - T160.1 in den Blechstärken 0,75 mm - 1,5 mm. Außerdem lässt sich zwischen Positiv- und Negativlage wählen. Ebenfalls lässt sich das statische System vom 1 bis 3-Feldträger auswählen sowie die Teilsicherheitsbeiwerte für die verschiedenen Einwirkungen. Die Programmoberfläche gliedert sich in drei Bereiche, zum einen in das Eingabefeld im oberen Bildschirmteil und zum anderen in die Ausgabe sowie Nachweisteil in der unteren Bildschirmhälfte in grauem Hintergrund. Die Nachweise beinhalten die Schnitt- und Stützgrößen sowie die Grenzstützweiten und die Verformung. (Abbildung 6.22). Die Bemessung der Trapezbleche erfolgt nach DIN 18807 nach dem Nachweisverfahren elastisch-elastisch.

Trapezblechbemessung																																																																				
Profil	Blechdicke [mm]	Lage	bA+Ü und bB	statisches System																																																																
T150.1	0.88	<input checked="" type="radio"/> Positivlage <input type="radio"/> Negativlage	IPE 500	3 - Feldträger																																																																
				Gesamtlänge:																																																																
				18 m																																																																
			200 bA+Ü 200 bB	Feldlänge :																																																																
				3 x 6 m																																																																
Einwirkungen:	Schnee	1,125	kN/m <sup>2</sup>	yQ=1,5																																																																
	Eigengewicht Dach	0,400	kN/m <sup>2</sup>	yG=1,35																																																																
	Zusatzlast	0,135	kN/m <sup>2</sup>	yG=1,35																																																																
	Winddruck	0,090	kN/m <sup>2</sup>	ψ= 0,6																																																																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">AUSGABE</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Andrückende Lasten</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>max.Ra,s,d</td> <td>4,54</td> <td>KN/m</td> </tr> <tr> <td>max.Rb,s,d</td> <td>12,22</td> <td>KN/m</td> </tr> <tr> <td>max.Mb,s,d</td> <td>-6,99</td> <td>KNm/m</td> </tr> <tr> <td>max.Mf,s,d</td> <td>5,89</td> <td>KNm/m</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">NACHWEISE</th> </tr> <tr> <th></th> <th>zulässig</th> <th>vorhanden</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>lgrenz</td> <td>12,50</td> <td>6 m</td> <td>48,0%</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Ra,s,d</td> <td>16,18</td> <td>4,54</td> <td>28,0%</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Rb,s,d</td> <td>40,09</td> <td>12,22</td> <td>30,5%</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Mb,s,d</td> <td>14,91</td> <td>-6,99</td> <td>46,9%</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Mf,s,d</td> <td>16,36</td> <td>5,89</td> <td>36,0%</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Interaktion</td> <td></td> <td>0,56</td> <td>56,2%</td> <td>OK</td> </tr> <tr> <td>Verformung</td> <td>20 mm</td> <td>11,2</td> <td>56,1%</td> <td>OK</td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>						AUSGABE			Andrückende Lasten			max.Ra,s,d	4,54	KN/m	max.Rb,s,d	12,22	KN/m	max.Mb,s,d	-6,99	KNm/m	max.Mf,s,d	5,89	KNm/m	NACHWEISE						zulässig	vorhanden			lgrenz	12,50	6 m	48,0%	OK	Ra,s,d	16,18	4,54	28,0%	OK	Rb,s,d	40,09	12,22	30,5%	OK	Mb,s,d	14,91	-6,99	46,9%	OK	Mf,s,d	16,36	5,89	36,0%	OK	Interaktion		0,56	56,2%	OK	Verformung	20 mm	11,2	56,1%	OK
AUSGABE																																																																				
Andrückende Lasten																																																																				
max.Ra,s,d	4,54	KN/m																																																																		
max.Rb,s,d	12,22	KN/m																																																																		
max.Mb,s,d	-6,99	KNm/m																																																																		
max.Mf,s,d	5,89	KNm/m																																																																		
NACHWEISE																																																																				
	zulässig	vorhanden																																																																		
lgrenz	12,50	6 m	48,0%	OK																																																																
Ra,s,d	16,18	4,54	28,0%	OK																																																																
Rb,s,d	40,09	12,22	30,5%	OK																																																																
Mb,s,d	14,91	-6,99	46,9%	OK																																																																
Mf,s,d	16,36	5,89	36,0%	OK																																																																
Interaktion		0,56	56,2%	OK																																																																
Verformung	20 mm	11,2	56,1%	OK																																																																

Abbildung 6.22 Trapezblechbemessung



6.2.2.1 Berechnungsalgorithmus Trapezblechberechnung

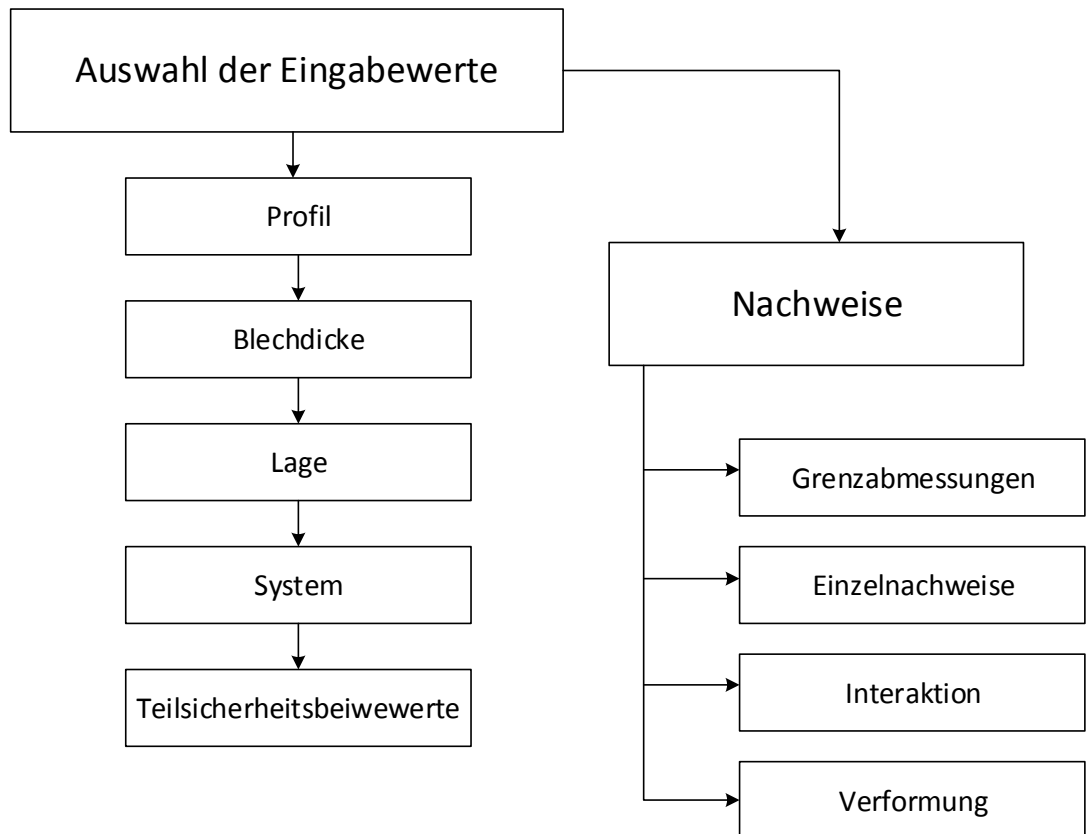


Abbildung 6.23 Algorithmus Trapezblechbemessung

## 6.2.2.2 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination

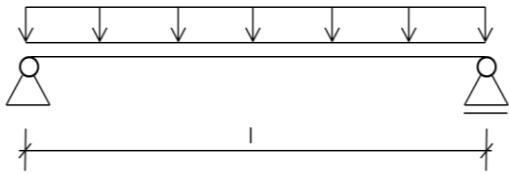
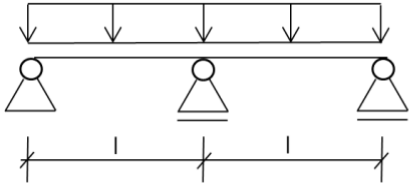
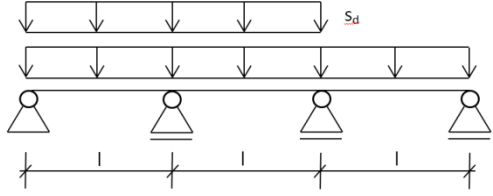
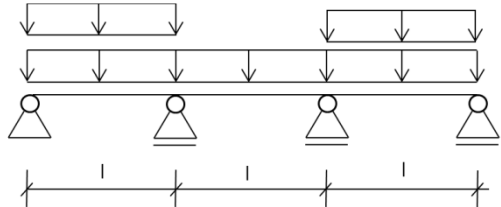
	Laststellung	Schnittkraft
1-Feldträger		$R_{A,s,d}$ $R_{B,s,d}$ $M_{F,s,d}$
2-Feldträger		$R_{A,s,d}$ $R_{B,s,d}$ $M_{F,s,d}$ $M_{B,s,d}$
3-Feldträger		$M_{B,s,d}$ $R_{B,s,d}$
3-Feldträger		$M_{F,s,d}$ $R_{A,s,d}$

Tabelle 14 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination

Gleichungen

1- Feldträger:

$$R_{A,s,d} = R_{B,s,d} = \frac{q * l}{2}$$

$$M_{F,s,d} = \frac{q * l^2}{8}$$

2- Feldträger und 3- Feldträger:

$$R_{A,s,d} = n * q * l \qquad R_{B,s,d} = n * q * l$$

$$M_{B,s,d} = n * q * l^2 \qquad M_{F,s,d} = n * q * l^2$$

n-Faktor:

andrückend		$E_d + Z_d + W_d$	$S_d$
2-Feldträger	$R_{A,s,d}$	0,375	0,375
	$R_{B,s,d}$	1,25	1,25
	$M_{F,s,d}$	-0,125	-0,125
	$M_{B,s,d}$	0,07	0,096
3-Feldträger	$R_{A,s,d}$	0,4	0,45
	$R_{B,s,d}$	1,1	1,2
	$M_{F,s,d}$	0,08	0,101
	$M_{B,s,d}$	-0,1	-0,117

**Tabelle 15 n-Faktoren**

Bei der Berechnung der Schnittgrößen können nur konstante Streckenlasten angenommen werden. Die dafür notwendigen Teilsicherheitsbeiwerte werden programmintern berücksichtigt (Tabelle 11). Die Schnittgrößen werden immer mit der ungünstigsten Laststellung für das jeweilige System berechnet.

Andrückende Laststellung/Lastfallkombination (Tabelle 8)

$q = \text{Eigenlast} + \text{Zusatzlast} + \text{Schnee} + \text{Winddruck}$

	Teilsicherheitsbeiwert/ ombinationsbeiwert
Ständige Lasten	1,35
Veränderliche Lasten	1,5
Verformung ständige Lasten	1,0
Verformung veränderliche Lasten	1,15
Kombinationsbeiwert Wind	0,6
Materialsicherheitsbeiwert	1,1

**Tabelle 16 Teilsicherheitsbeiwerte**

## 6.2.2.3 Nachweise

Nach der DIN 18807 werden die Nachweise für Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit gefordert. Es gilt allgemein:

$$\sum \gamma_F * S_k \leq \frac{R_k}{\gamma_m}$$

Die Nachweise erfolgen mit den maximalen Schnittgrößen. Die Widerstandsgrößen wurden vom Typenblatt des Herstellers ins Programm übertragen. Diese sind abhängig von der End- und Zwischenauflagerbreite, welche automatisch programmintern berücksichtigt werden. Die ermittelten Widerstandsgrößen sind charakteristische Werte und werden durch den Materialsicherheitsfaktor  $\gamma_m = 1,1$  dividiert, um die Beanspruchbarkeit zu erhalten. Anschließend werden die Nachweise geführt, die Beanspruchbarkeit mit der Widerstandsgröße dividiert und man erhält die Auslastung in Prozent. (Abbildung 6.24 und Tabelle 16)

NACHWEISE				
	zulässig	vorhanden		
lgrenz	12,50	6 m	48,0%	OK
Ra,s,d	16,18	4,54	28,0%	OK
Rb,s,d	40,09	12,22	30,5%	OK
Mb,s,d	14,91	-6,99	46,9%	OK
Mf,s,d	16,36	5,89	36,0%	OK
Interaktion		0,56	56,2%	OK
Verformung	20 mm	11,2	56,1%	OK

Abbildung 6.24 Nachweise Trapezblechbemessung

**Einzelnachweise:**

Endauflagerkraft:

$$\frac{R_{A,s,d}}{R_{A,T,k}/\gamma_m} \leq 1,0$$

Zwischenauflagerkräfte:

$$\frac{R_{B,s,d}}{R_{B,k}/\gamma_m} \leq 1,0$$

Feldmomente:

$$\frac{M_{F,s,d}}{M_{F,k}/\gamma_m} \leq 1,0$$

Stützmomente:

$$\frac{M_{B,s,d}}{M_{B,k}/\gamma_m} \leq 1,0$$

Interaktion:

$$\frac{M_{B,s,d}}{M_{B,k}/\gamma_m} + \left( \frac{R_{B,s,d}}{R_{B,k}/\gamma_m} \right)^2 \leq 1,0$$

Verformung

Die Verformung wird auf  $l/300$  festgelegt. Es wird hier ebenfalls wie bei der Schnittkraftermittlung von einem konstant belasteten System ausgegangen. Die Teilsicherheitsbeiwerte werden automatisch vom Programm hinzugefügt. (Tabelle 16)

Gleichungen:

Einfeldträger:

$$f = \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{E * I}$$

Zweifeldträger :

$$f = \frac{0,257 * q * l^4}{l}$$

Dreifeldträger:

$$f = \frac{0,324 * q * l^4}{l}$$

mit f [cm]; q [kN/m]; l [m]; I [cm<sup>4</sup>]

### 6.2.3 Rahmenbemessung

Die Rahmenbemessung erfolgt in der vierten Oberfläche. Diese ist identisch mit dem Programm „Pfettenbauweise“. Hier erfolgt die Wahl der Riegel bzw. Stützenprofile in den Profilklassen IPE, HEA und HEB nach DIN EN 10025 in der oberen Hälfte des Bildschirms. Die Nachweise erfolgen ebenfalls wie üblich getrennt für Riegel, Stütze und einen Spannungsnachweis für die Voute. (Abbildung 6.25)

#### Rahmenbemessung

##### EINGABE

1. Abmessungen:

Traufhöhe:

5,9

m

Spannweite:

18

m

2. Profil:

Riegel:

IPE

360

Stütze:

IPE

450

3. Einwirkungen:

q,d,ersatz:

11,10

KN/m (EG<sub>Riegel</sub>+EG<sub>Sandwich</sub>+EG<sub>Pfetten</sub>+Schnee)

4. Lastfallkombination:

1,35\*EG + 1,5\* Schnee

Zurück

WEITER zu "Kosten"

##### NACHWEISE

Riegel	BDK + BK	y-Achse	76,6%	OK	EUROCODE 3	
		z-Achse	82,0%	OK	Querschnittsklasse	1
					Momententragfähigkeit	68,2% OK
					Querkraft	18,1% OK
					Normalkraft	2,6% OK
	Spannungsnachweis	Vergleichsspannung	87,8%	OK		

Stütze	BDK + BK	y-Achse	61,1%	OK	Querschnittsklasse	1
		z-Achse	90,4%	OK	Momententragfähigkeit	60,2% OK
					Querkraft <td>6,0% OK</td>	6,0% OK
					Normalkraft <td>4,6% OK</td>	4,6% OK
	Spannungsnachweis	Vergleichsspannung	80,7%	OK		

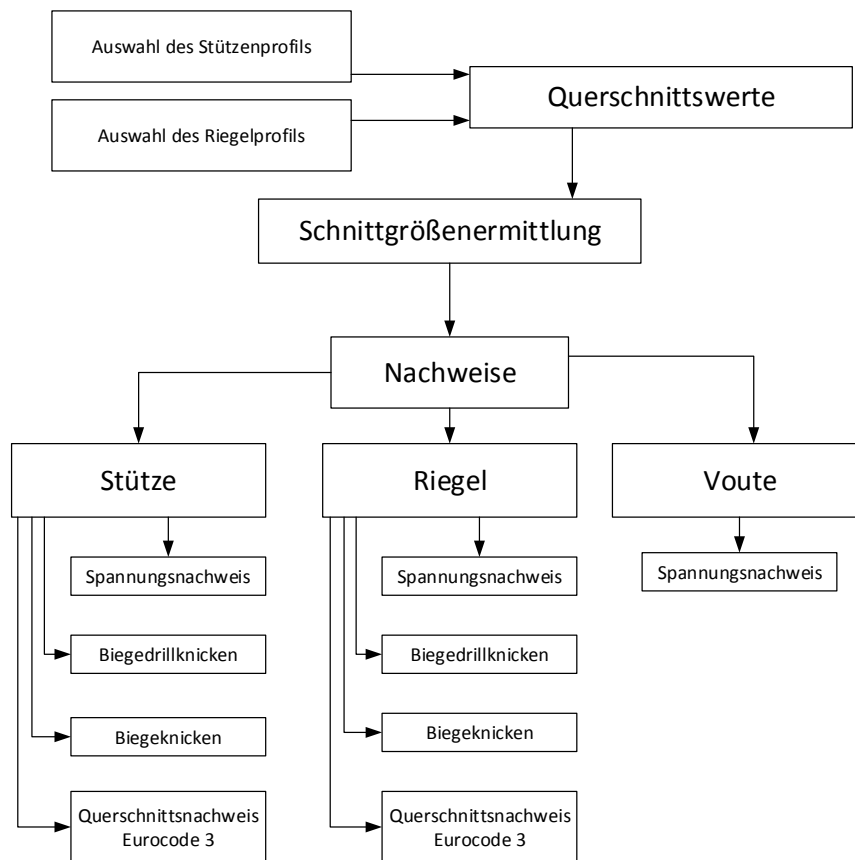
  

Voute	Spannungsnachweis	Normalspannungen	55,7%	OK
-------	-------------------	------------------	-------	----

Abbildung 6.25 Rahmenbemessung



6.2.3.1 Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung



**Abbildung 6.26 Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung**

Die Rahmennachweise erfolgen nach der aktuell gültigen Norm DIN EN1993 (Eurocode 3). Als statisches System fungiert ein Zweigelenkrahmen mit gelenkiger Lagerung im Fußpunkt und biegesteifen Ecken im Rahmen. Stabilitätsnachweise für Stütze und Riegel werden nach dem Ersatzstabverfahren mit dem kombinierten Nachweis Biegedrillknicken und Biegeknicken nach DIN EN 1993-1-1/6.3.3 durchgeführt. Die Querschnitts- bzw. Spannungsnachweise erfolgen nach DIN EN 1993-1-1,6.2.10, die Voute mit einem Vergleichsspannungsnachweis.

### 6.2.3.2 Eingabe Rahmen

Abbildung 6.27 zeigt die möglichen Eingaben für die Rahmenbemessung: Spannweite, Achsraster, Traufhöhe, Riegelprofil und Stützenprofil.

Die zur Bemessung des Rahmens erforderliche Last  $q_{\text{Ersatz}}$  ergibt sich aus den zuvor ausgewählten Eingabedaten.

EINGABE			
1. Abmessungen:	Traufhöhe:	5	m
	Spannweite:	23	m
2. Profil:	Riegel:	IPE	500
	Stütze:	IPE	500
3. Einwirkungen:	q,d,ersatz:	11,81	KN/m (EG <sub>Riegel</sub> +EG <sub>Dacheindeckung</sub> +Zusatz+Schnee)
4. Lastfallkombination:	1,35*EG + 1,5* Schnee + 1,5*0,9 Winddruck		

**Abbildung 6.27 Eingabedaten Rahmen**

Mit der ermittelten Ersatzlast, welche der folgenden Lastfallkombination entspricht lassen sich die Schnittgrößen mit Hilfe der Rahmenformeln nach Kleinlogel/Haselbach ermitteln.

$$LFK: \gamma_G * E_{g,Dachaufbau} + \gamma_Q * z_{k,Installation} + \gamma_Q * s_k + \gamma_Q * \psi_0 * w_{Druck}$$

$$LFK: 1,35 * E_{g,Dachaufbau} + 1,5 * z_{k,Installation} + 1,5 * s_k + 1,5 * 0,6 * w_{Druck}$$

## 6.2.3.3 Schnittgrößenermittlung

Vorwerte:

LFK	1	q=	11,33	KN/m
		l=	20,0	m
Festwerte:	$k = (I_2/I_1) \cdot (h/s)$	0,74897215		
	$\varphi = f/h$	0,06997293		
	$m = 1 + \varphi$	1,06997293		
	$B = 2 \cdot (k+1) + m$	4,56791724		
	$C = 1 + 2 \cdot m$	3,13994587		
	$N = B + m \cdot C$	7,92757433		
	f=first-traufhöhe	0,525	3° Dachneigung	0,05235988
	VA	122,45	KN	
	HA	39,77	KN	
	VB	122,45	KN	
	HB	39,77	KN	
	MC	-298,26	KNm	Mcvoute,u -268,44 KNm
	MD	247,22	KNm	mittels Funktion BDK Stütze
	ME	-298,26	KNm	Mcvoute,v -98,55 KNm
				mittels Superpositionsgesetz BDK Riegel

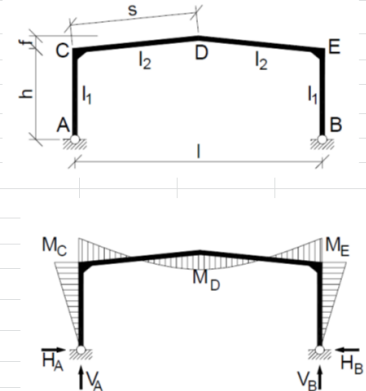


Abbildung 6.28 Schnittgrößenermittlung

Abbildung 6.28 zeigt die Berechnung der Schnittkräfte inklusiv aller benötigten Vorwerte. In Tabelle 5 sind alle benötigten Gleichungen für die Schnittgrößen dargestellt. Aufgrund der Voutengeometrie und somit der hohen Steifigkeit kommt es zu Schnittgrößenumlagerungen in den Rahmenecken. Diese Umlagerungen und die daraus resultierenden Schnittgrößen und Verformungen des gesamten Rahmens bleiben aufgrund des extrem hohen Rechenaufwandes in der Berechnung unberücksichtigt. Die in Tabelle 17 stehenden Gleichungen für die Ermittlung der Rahmenmomente lassen sich mittels Superpositionsgesetz zu einer Gleichung zusammenfassen, welche es ermöglicht, die Voutenendmomente  $M_{v,1}$  und  $M_{v,2}$  zu berechnen. (Tabelle 18)

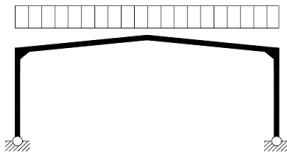
	
VA , VB	$\frac{q * l}{2}$
HA , HB	$\frac{-MC}{2}$
MC	$-\frac{q * l^2 * (3 + 5 * m)}{16 * N}$
MD	$-\frac{q * l^2}{8} + m * MC$
ME	$-\frac{q * l^2 * (3 + 5 * m)}{16 * N}$

Tabelle 17 Schnittkraftermittlung Rahmen

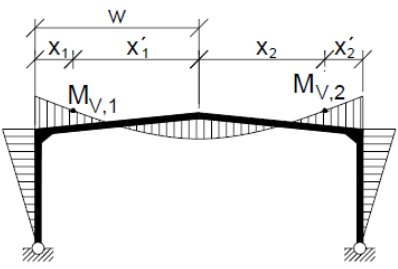
	
Mv,1 ; Mv,2	$\frac{q * x_1 * x_1'}{2} + \frac{x_1'}{w} * MC + \frac{x_1'}{w} * MD$

Tabelle 18 Schnittkraftermittlung Rahmen

6.2.3.4 Kombiniertes Nachweis Biegeknicken + Biegedrillknicken Stütze

Nachweis erfolgt analog Programm „Pfettenbauweise mit Sandwichdeckung“.

Siehe 6.1.4.4

6.2.3.5 Kombiniertes Nachweis Biegeknicken + Biegedrillknicken Riegel

Nachweis erfolgt analog Programm „Pfettenbauweise mit Sandwichdeckung“.

Siehe 6.1.4.5

### 6.2.3.6 Querschnittsnachweis Stütze und Riegel

Um die Querschnittsnachweise führen zu können, muss vorher für das jeweilige Profil die Einteilung in die Querschnittsklasse erfolgen. Dies erfolgt durch die Grenzwerte  $c/t$  für Trägersteg und Trägergurt nach DIN EN 1993-1-1, Tab.5.2. Die Ermittlung dieser Werte geschieht in Abhängigkeit der Querschnittsform, Stahlfestigkeit sowie der Spannungsverteilung im Profil. (Abbildung 6.29)

#### Querschnittsklassifizierung Algorithmus

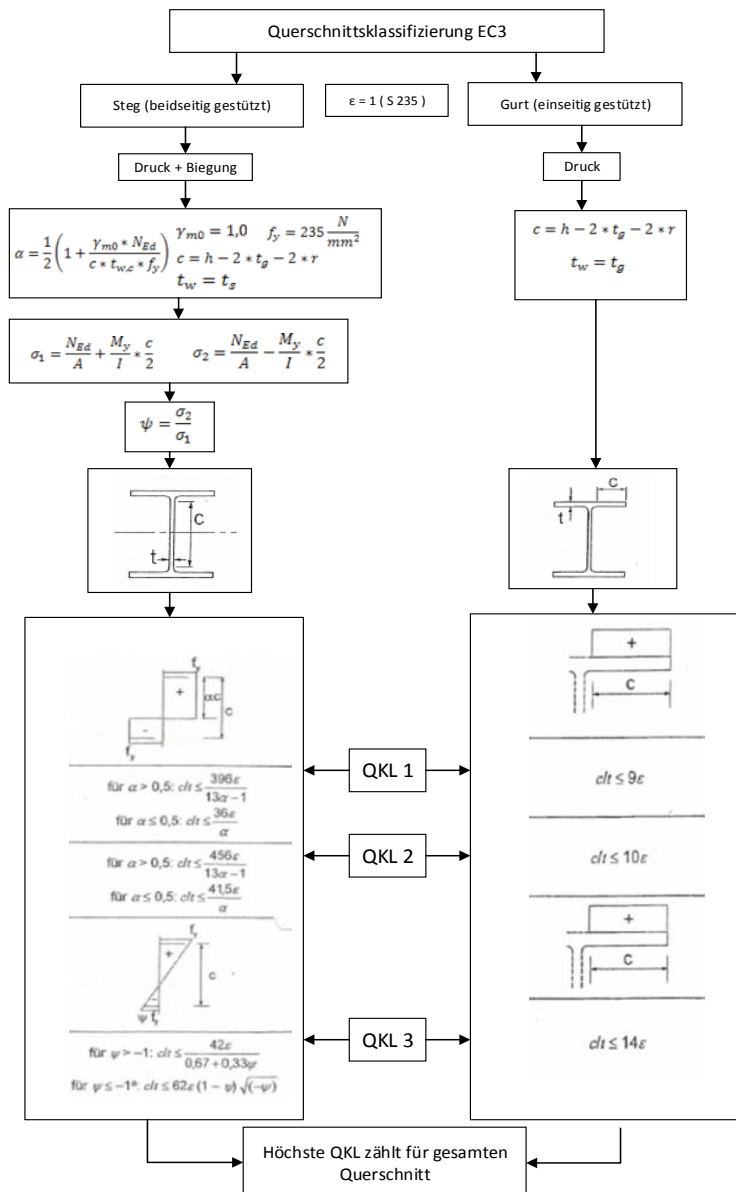


Abbildung 6.29 Algorithmus Querschnittsklassifizierung

Die Querschnittsnachweise werden nach der DIN EN 1993-1-1, 6.2.10 für Beanspruchungen aus einachsiger Biegung, zugehöriger Querkraft und Normalkraft durchgeführt. (Abbildung 6.30)

### Querschnittsnachweise Algorithmus

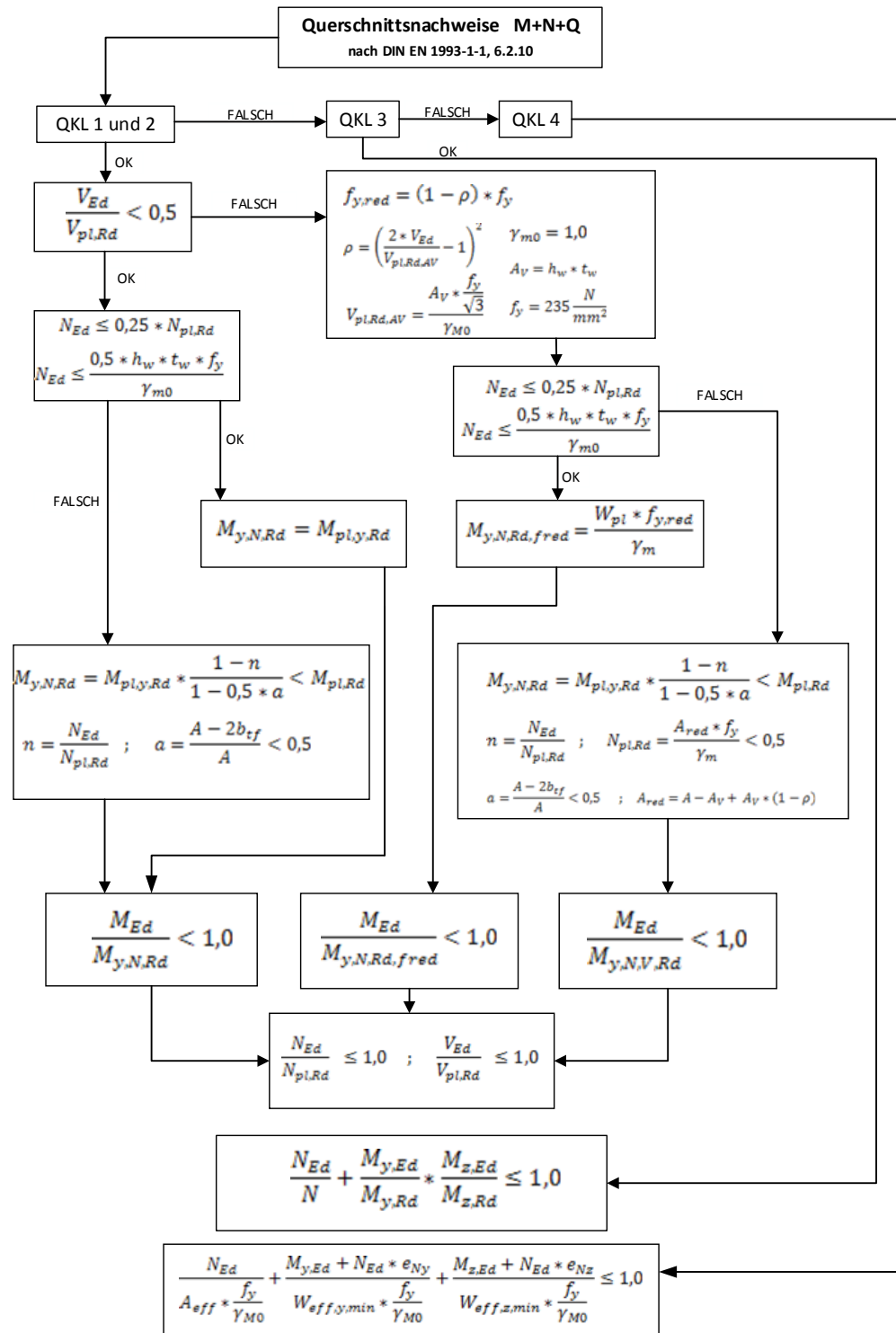


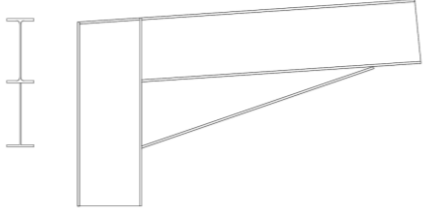
Abbildung 6.30 Querschnittsnachweise

## 6.2.3.7 Voutenberechnung

Die Voute wird mit einem allgemeinen Spannungsnachweis am Voutenanfang (Übergang Stütze-Voute) nachgewiesen.

Die Voutengeometrie passt sich programmintern automatisch an das ausgewählte Riegelgrundprofil an. Die Voutenlänge beträgt  $l/10$  der Rahmenspannweite. Die Voutenhöhe ergibt sich aus der doppelten Höhe des Riegelgrundprofils. Stegdicke sowie Gurtdicken der Voute werden ebenfalls automatisch so gewählt, dass diese nahe an den Dicken des Grundprofils liegen und dennoch realistisch bestellbar und bearbeitbar sind. Des Weiteren folgt im Programm die Neuberechnung des Gesamtschwerpunktes und des Flächenträgheitsmoment 2.Ordnung des Voutenprofils.

Beispiel:

	Grundprofil IPE450	Voutenteil	
h	450	450	
b	190	190	
t <sub>s</sub>	9,4	10	
t <sub>g</sub>	14,6	15	

**Tabelle 19 Voute**

$$s_{neu} = \frac{A_{Riegel} * s_{Riegel} + (t_g * b) * s_g + (t_s * h_v) * s_v}{A_{Riegel} + (t_g * b) + (t_s * h_v)}$$

$$I_{y,Voute} = \left( I_{Riegel} + A_{Riegel} * (s_{Voute} - s_{Riegel})^2 \right) + \left( I_{Gurt,v} + A_{Gurt,v} * (s_{Voute} - s_{Gurt})^2 \right) + \left( I_{Steg,v} + A_{Steg,v} * (s_{Voute} - s_{Steg})^2 \right)$$



Spannungsberechnung:

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m}$$

$$\sigma = \frac{N}{A_{Voute}} + \frac{MC}{I_{y,Voute}} * \frac{h_{Voute}}{2}$$

Nachweis:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{Rd}} < 1,0$$

## 6.2.4 Materialkosten

In der letzten Programmoberfläche findet sich ebenso wie beim vorherigen Programm die Kostenübersicht. Hier werden die Materialkosten für Stahlbau und Hüllkonstruktion dargestellt und zusammengefasst. Die Kosten für die Hüllkonstruktion unterteilen sich in Sandwichpaneele für die Wand, Wandriegel, Kantteile für First und Traufe sowie die Kosten des Dachaufbaus einschließlich Dämmung, PVC Bahn, die Stahlbaukosten in den Rahmen, Vouten, Verbände und die Druckrohre (pro Verbandsfeld). Abschließend kann eine Hallenlänge angegeben werden und die Kosten werden anschließend angepasst. (Abbildung 6.31)

Bauvorhaben:      Beispielrechnung	
------------------------------------	--

Hallenlänge [m]:	6
Anzahl Rahmen:	1

Stahl							
	Profil	Masse pro Rahmen [t]	Anzahl	[t]	Masse Gesamt [t]	Stahlpreis €/kg	Gesamt €
Rahmen	Riegel IPE400	2,08	1	2,08	3,06	0,7	2.309,59 €
	Stütze IPE450						
Vouten		2	0,10				
Druckrohr	RO101,6*4,0	10	0,60				
Verbände	RD20	16	0,27				

Sandwich					
	Fläche pro Raster [m²]	RWA / Lichtkuppeln	Fläche Gesamt [m²]	€/m²	Gesamt €
Dach	130,16	0,00	130,16	27,1 €	3.527,5 €

	Fläche pro Raster [m²]	Fenster Türen Tore	Fläche Gesamt [m²]	€/m²	Gesamt €
Wand	58,20	0,00	58,20	24,2 €	1.405,5 €

Kantteile				
	Bauteil	lfd.m Gesamt [m]	€/lfd.m	Gesamt €
Dach	Traufe , First	18,00	15,0 €	270,0 €
	Lichtbänder	0,00		
Wand	Tropfkanten,Eckprofile,Einfassungen		10,0 €	0,0 €
	Fenster, Türen , Tore			

Pfetten/Wandriegel				
	Profil	lfd.m Gesamt [m]	€/lfd.m	Gesamt €
Pfetten	Z260-25	48	10,8 €	518,4 €

	Anzahl pro Seite	lfd.m Gesamt [m]	€/lfd.m	Gesamt €
Wandriegel	3	36	8,5 €	306,0 €
	EXTRA Türen und TORE	0		

Gesamtpreis	
Stahlbau	2.309,59 €
Hüllkonstruktion	6.027,39 €
Gesamtkosten	8.336,98 €

Abbildung 6.31 Kostenausgabe

### 6.3 Überprüfung des Programms anhand einer Handberechnung

Um mit der vergleichenden Untersuchung beginnen zu können, müssen die erstellten Programme auf ihre Fehler und ihre Genauigkeit überprüft werden. Dies geschieht mittels einer Handberechnung. Die Ergebnisse werden dann mit den Programmergebnissen verglichen und schließlich ausgewertet.

#### 6.3.1 Trapezblechbemessung

Nachweise [%]	Handberechnung	Programm	Abweichung [%]
$R_{A,s,d}/R_{A,T,d}$	0,28	0,28	0
$R_{B,s,d}/R_{T,d}$	0,30	0,30	0
$M_{F,s,d}/M_{F,d}$	0,36	0,36	0
$M_{B,s,d}/M_{B,d}$	0,47	0,47	0
Interkation	0,56	0,56	0
Verformung	0,55	0,56	1

**Tabelle 20 Trapezblechbemessung Abweichung**

#### 6.3.2 Rahmenbemessung

	Handberechnung	Programm	Abweichung [%]
Eckmoment [kNm]	423,32	422,09	0,3
Feldmoment [kNm]	290,75	275,61	5,4
Auflagerkraft vertikal	139,00	132,86	4,6
Auflagerlast horizontal	84,42	84,66	-0,3

Stütze	Handberechnung	Programm	Abweichung [%]
BDK + BK y-Achse	0,62	0,62	0
BDK + BK z-Achse	0,96	0,96	0

Riegel	Handberechnung	Programm	Abweichung [%]
BDK + BK y-Achse	0,83	0,83	0
BDK + BK z-Achse	0,90	0,90	0

**Tabelle 21 Rahmenbemessung Abweichung**

### 6.3.3 Auswertung

Wie in Tabelle 20 und 21 ersichtlich ist beträgt die maximale Abweichung 5,4 % bei der Rahmenbemessung. Dies resultiert aus den in Excel verwendeten Nähungsformeln. Bei dem Vergleich der Trapezblechbemessung finden wir eine maximale Abweichung von nur 1 %. Aufgrund dessen, dass das Programm einen kalkulatorischen Zweck erfüllen soll, sind diese minimalen Abweichungen absolut vertretbar und führen zu keinen relevanten Verfälschungen der Berechnungsergebnisse. Die beiden Programme wurden durch diesen Vergleich als brauchbar und geeignet erachtet, um die vergleichende Untersuchung durchführen zu können.

## 7. Auswertung

### 7.1 Vorüberlegungen

Um eine Aussage über eine sinnvolle und wirtschaftliche Wahl der sekundären Parameter treffen zu können, wurden die einzelnen Parameter genauer untersucht bzw. betrachtet.

#### 7.1.1 Pfettenprofile

Die Preise für die Pfetten liegen in €/Stk. vom Hersteller vor, sie wurden für eine Hallengrundfläche von ca. 600 m<sup>2</sup> erstellt.

In Abbildung 7.1 wurden die Pfettenprofile in Abhängigkeit von Preis pro Stück (Stk = 7m lang) in einem Diagramm dargestellt. Man kann erkennen, dass mit zunehmender Pfettenhöhe und Materialdicke der Preis steigt. Dennoch wird bei genauer Betrachtung ersichtlich, dass der eigentliche Preisanstieg auf die Materialdicke zurückzuführen ist und dieser durch die Pfettenhöhe kleiner ist. Daher macht es Sinn, bei der Wahl der Parameter in erster Linie die Pfettenhöhe zu verändern als die Materialdicke.

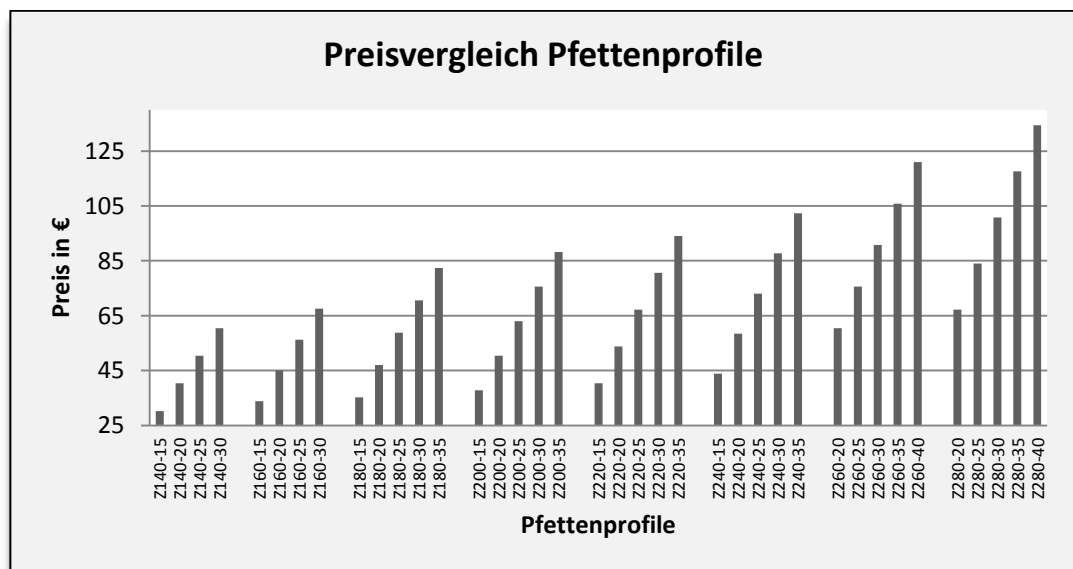


Abbildung 7.1 Preisvergleich Pfettenprofile

7.1.2 Trapezblech

Die Preise für die Trapezbleche liegen in €/m<sup>2</sup> vor. Sie wurden vom Hersteller für eine Fläche von 600 m<sup>2</sup> angegeben.

Im Diagramm kann man einen deutlichen Preisanstieg aller Profile bei einer Materialdicke von 1,0 mm erkennen. Der Preismittelwert liegt bei ca. 12,60 €/m<sup>2</sup>. Wenn man sich diese beiden Faktoren betrachtet, erweist sich die Wahl des Trapezbleches bei allen Profilhöhen bis zu einer Materialdicke von 1,0 mm als sinnvoll bzw. wirtschaftlich (Abbildung 7.2).

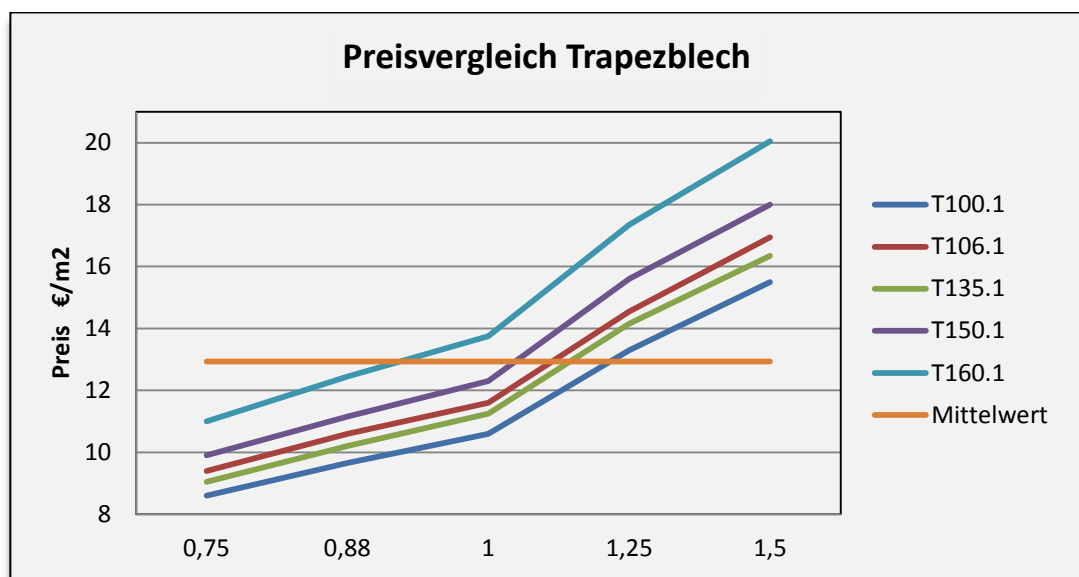


Abbildung 7.2 Preisvergleich Trapezblech

## 7.2 Auswertung Pfettendach mit Sandwichdeckung

### 7.2.1 Aufstellung der günstigsten Varianten

In Tabelle 22 wurden aus den 84 zuvor beschriebenen Varianten die preisgünstigsten in Abhängigkeit von Spannweite und Achsabstand aufgeführt.

Spannweite [m]	Achsabstand [m]	Pfettenanzahl pro Dachseite	Hüllkonstruktion [€/m <sup>2</sup> ]	Stahlbau [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamtkosten [€/m <sup>2</sup> ]
15	6	4	49,63	21,42	71,05
	6,5	6	49,6	22,03	71,63
	7	4	49,57	21,19	70,76
17,5	6	4	46,14	20,9	67,04
	6,5	4	46,11	20,42	66,53
	7	4	46,09	20,94	67,03
20	6	5	43,52	20,98	64,5
	6,5	4	43,5	21,64	65,14
	7	4	43,47	21,05	64,52
22,5	6	5	41,48	21,48	62,96
	6,5	5	41,46	20,74	62,2
	7	6	41,44	21,19	62,63
25	6	5	39,85	22,54	62,39
	6,5	6	39,83	22,01	61,84
	7	6	39,82	21,99	61,81
27,5	6	5	38,52	23,84	62,36
	6,5	5	38,5	22,88	61,38
	7	5	38,49	22,87	61,36
30	6	6	37,41	24,23	61,64
	6,5	6	37,39	24,75	62,14
	7	6	37,38	25,05	62,43

**Tabelle 22 günstigste Varianten Pfettendach**

7.2.2 Materialkostenaufteilung

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 7.3 - 7.5) ist für die Achsabstände 6 m, 6,5 m und 7 m die Materialkostenaufteilung, getrennt in Hüllkonstruktion und Stahlbau, abhängig von der Spannweite dargestellt. Als Grundlage für die Erstellung der Diagramme dienen die Werte aus Tabelle 16.

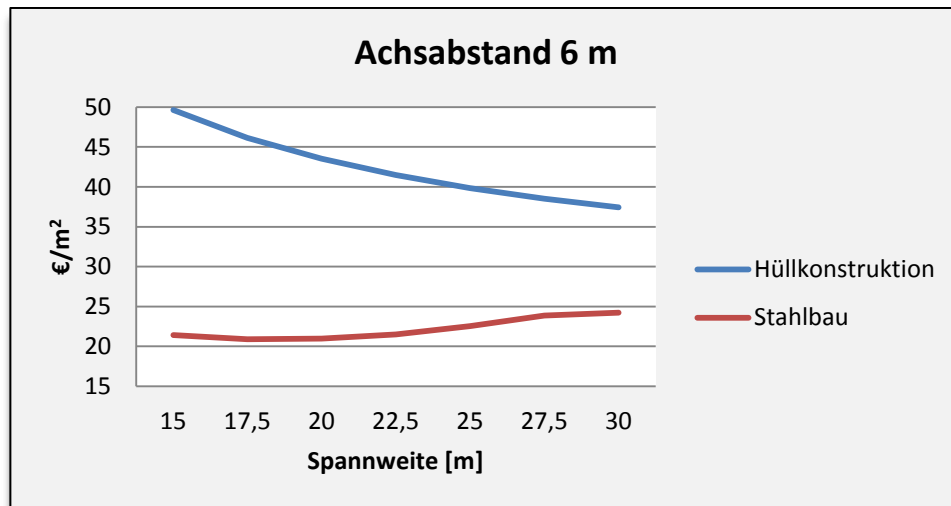


Abbildung 7.3 Materialkostenaufteilung 6 m

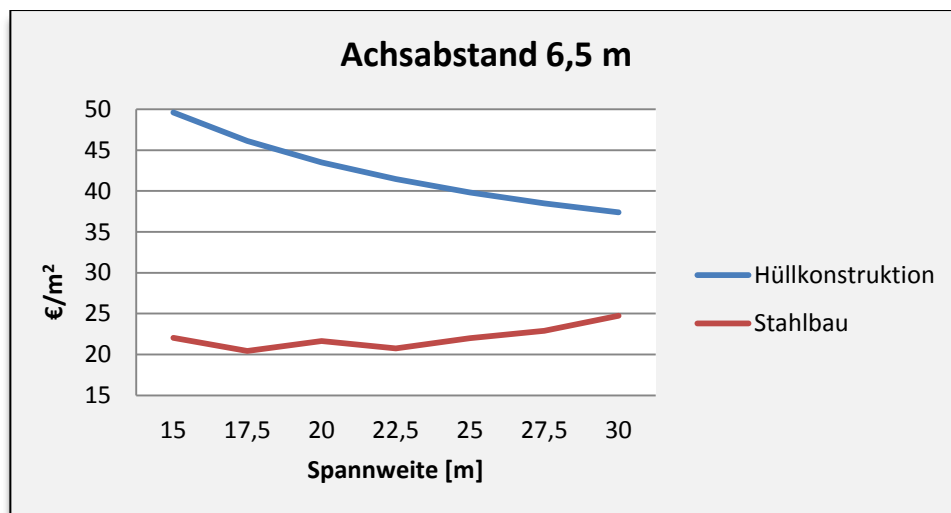


Abbildung 7.4 Materialkostenaufteilung 6,5 m



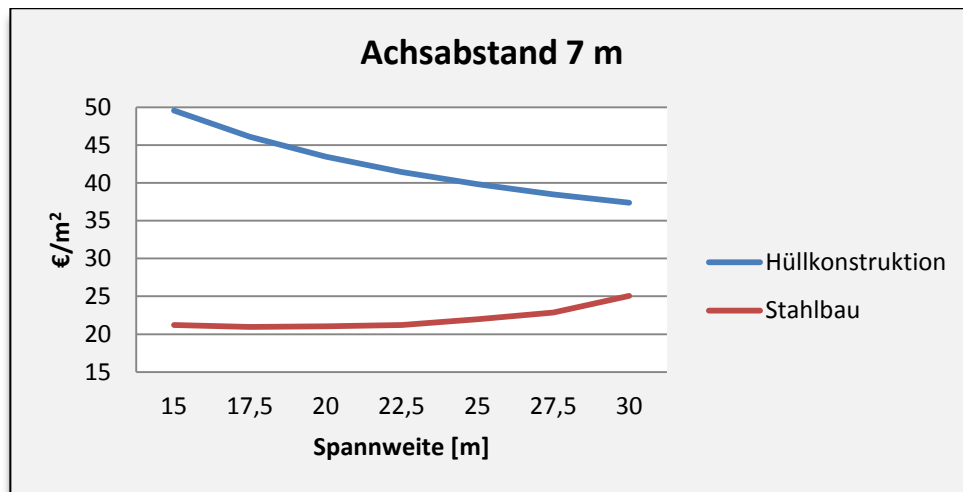


Abbildung 7.5 Materialkostenaufteilung 7 m

Auswertung:

In den Diagrammen wird eindeutig ersichtlich, dass mit zunehmender Spannweite die Preisdifferenz zwischen Hüllkonstruktion und Stahlbau geringer wird. Der Preis für den Stahlbau steigt aufgrund der zunehmenden Profilhöhe, gleichzeitig sinkt er für die Hüllkonstruktion, bezogen auf die Grundfläche Spannweite x Achsabstand in  $m^2$ .

Verhalten x-Achse	Folge	
	Preis Hüllkonstruktion	Preis Stahlbau
Spannweite ↑	↓	↑

Tabelle 23 Auswertung Materialkosten

↑↑ steigt stark

↑ steigt

↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 7.6 – 7.12) sind für alle Spannweiten die Materialkosten, getrennt nach Hüllkonstruktion und Stahlbau abhängig von dem Achsabstand dargestellt. Als Grundlage für die Erstellung der Diagramme dienen die Werte aus Tabelle 22.

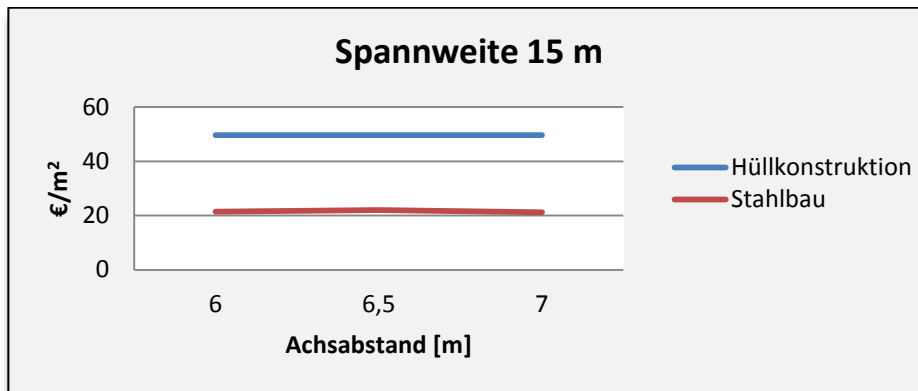


Abbildung 7.6 Materialkostenaufteilung 15 m

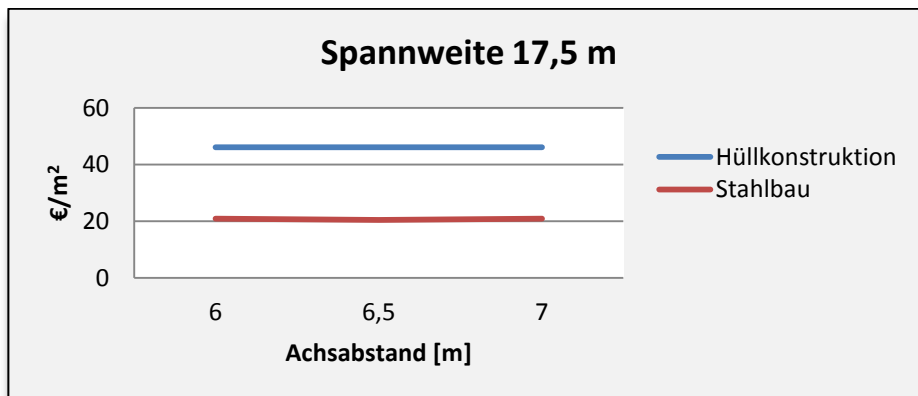


Abbildung 7.7 Materialkostenaufteilung 17,5 m

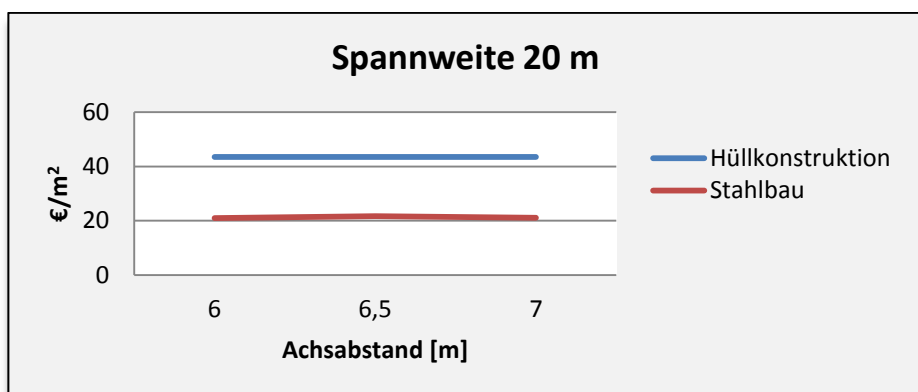


Abbildung 7.8 Materialkostenaufteilung 20 m

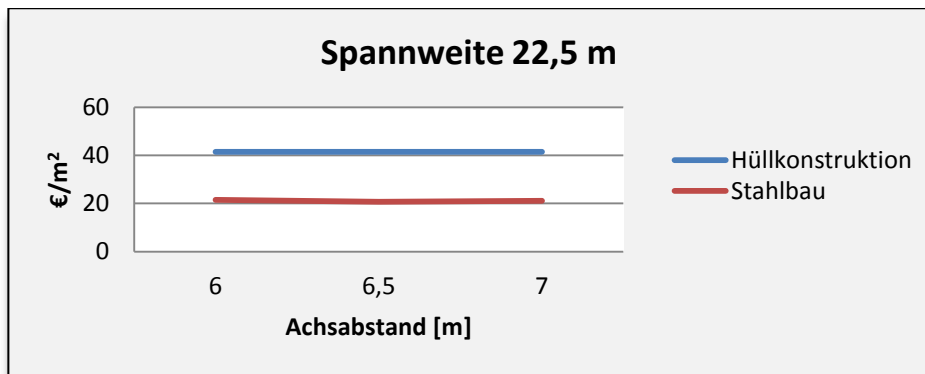


Abbildung 7.9 Materialkostenaufteilung 22,5 m

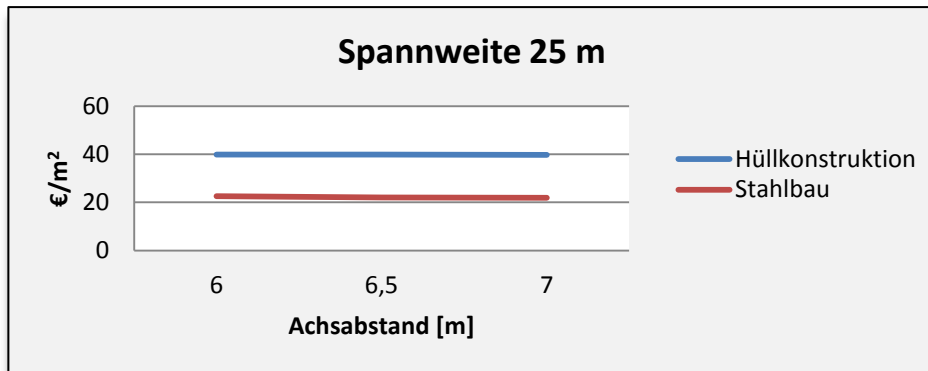


Abbildung 7.10 Materialkostenaufteilung 25 m

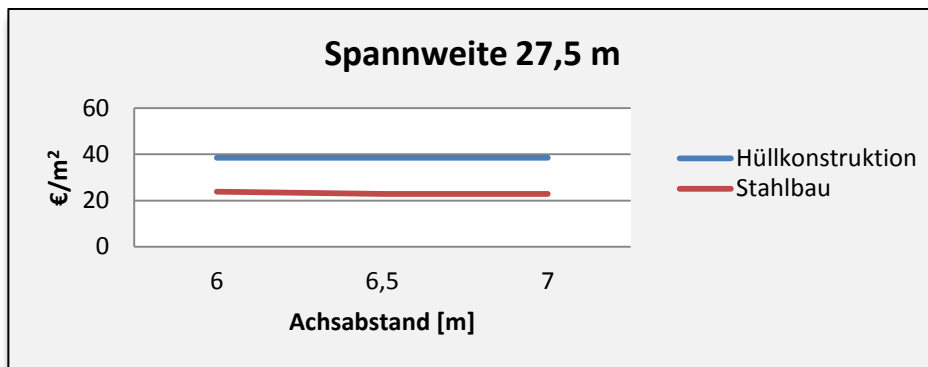


Abbildung 7.11 Materialkostenaufteilung 27,5 m

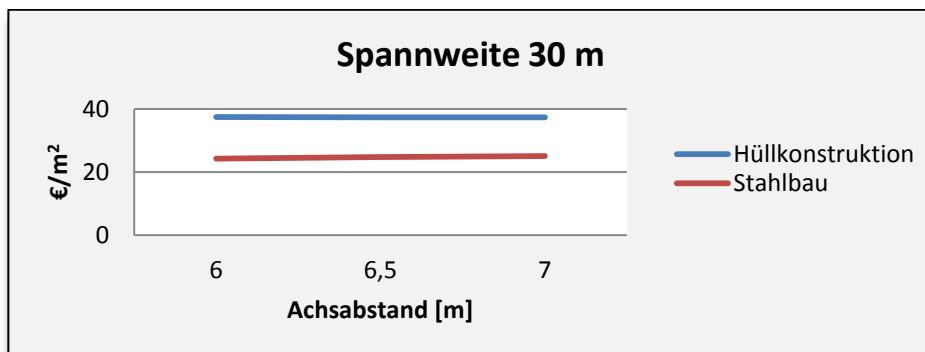


Abbildung 7.12 Materialkostenaufteilung 30m

Auswertung:

In den Diagrammen wird eindeutig ersichtlich, dass mit zunehmendem Achsabstand die Preise für Hüllkonstruktion und Stahlbau nahezu konstant bleiben. Dies gilt für alle Spannweiten von 15 - 30 m. Daraus kann man entnehmen, dass die Änderung des Achsabstandes keinen Einfluss auf die Hüllkonstruktions- sowie Stahlbaukosten hat.

Verhalten x-Achse	Folge	
	Preis Hüllkonstruktion	Preis Stahlbau
Achsabstand ↑	↔	↔

**Tabelle 24 Auswertung Spannweite**

↑↑ steigt stark

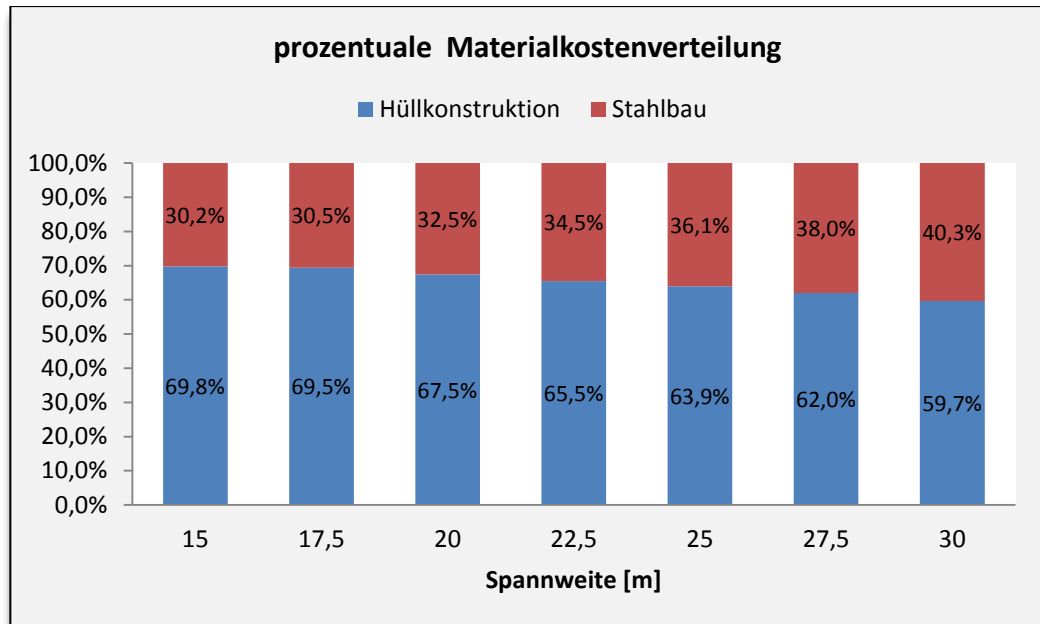
↑ steigt

↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

Um eine prozentuale Aussage über die Materialkostenverteilung für alle Spannweiten treffen zu können, wurden aus Tabelle 16 Werte entnommen und Mittelwerte für die einzelnen Spannweiten gebildet. Somit ergibt sich folgendes Diagramm:



**Abbildung 7.13 prozentuale Materialkostenverteilung**

Auswertung:

Man erkennt, dass sich mit größer werdender Spannweite die Materialkostenverteilung ändert. Liegt beispielsweise bei einer geringen Spannweite, wie 17,5 m die Kostverteilung bei ca. 30 % Stahlbau und 70 % Hüllkonstruktion, ändert sich diese bei einer Spannweite von 30 m in 40 % für Stahlbau und 60 % für Hüllkonstruktion. Somit werden nochmals die folgenden Tendenzen im untersuchten Bereich festgestellt:

- Materialkostenangleichung zu höheren Spannweiten
- Materialkostenverteilung ist spannweitenabhängig
- Materialkostenverteilung ist nicht achsabstandsabhängig

## 7.2.3 Kosten Stahlbau

In der nachfolgenden Tabelle wurden die Stahlbaukosten aufgeschlüsselt, das heißt anteilmäßig auf Riegel, Stützen und Pfetten/Wandriegel. Grundlage für diese Aufstellung ist Tabelle 25 der günstigsten Varianten.

Spannweite [m]	Achsabstand [m]	Stahlbaukosten [€/m <sup>2</sup> ]	Riegelkosten [€/m <sup>2</sup> ]	Stützenkosten [€/m <sup>2</sup> ]	Pfetten/ Wandriegelkosten [€/m <sup>2</sup> ]	Riegelanteil [%]	Stützenanteil [%]	Pfetten/ Wandriegelanteil [%]
15	6	22,06	5,32	4,79	7,48	30,3%	27,2%	42,5%
	6,5	20,92	4,91	4,42	7,10	29,9%	26,9%	43,2%
	7	20,44	4,56	4,10	7,46	28,3%	25,5%	46,2%
17,5	6	20,23	6,20	4,10	6,08	37,8%	25,1%	37,1%
	6,5	19,68	5,72	3,79	6,39	36,0%	23,8%	40,2%
	7	19,51	5,31	3,52	6,96	33,6%	22,3%	44,1%
20	6	20,98	7,20	4,18	5,85	41,8%	24,2%	34,0%
	6,5	19,92	6,65	4,51	6,09	38,5%	26,1%	35,3%
	7	20,06	6,17	4,19	6,43	36,8%	24,9%	38,3%
22,5	6	21,48	8,36	4,34	5,41	46,2%	24,0%	29,9%
	6,5	20,74	7,72	4,01	5,71	44,3%	23,0%	32,8%
	7	21,04	7,17	4,35	6,27	40,3%	24,5%	35,2%
25	6	21,12	8,36	4,57	5,14	46,3%	25,3%	28,5%
	6,5	21,88	9,03	4,22	5,64	47,8%	22,3%	29,8%
	7	21,86	8,39	4,55	5,97	44,4%	24,1%	31,6%
27,5	6	22,22	9,78	4,83	4,78	50,4%	24,9%	24,6%
	6,5	23,3	10,56	4,23	5,28	52,6%	21,1%	26,3%
	7	22,31	9,80	3,93	5,40	51,2%	20,5%	28,2%
30	6	24,23	11,44	5,14	4,84	53,4%	24,0%	22,6%
	6,5	23,01	10,56	4,75	4,96	52,1%	23,4%	24,5%
	7	25,05	11,41	5,58	5,34	51,1%	25,0%	23,9%

Tabelle 25 Kosten Stahlbau

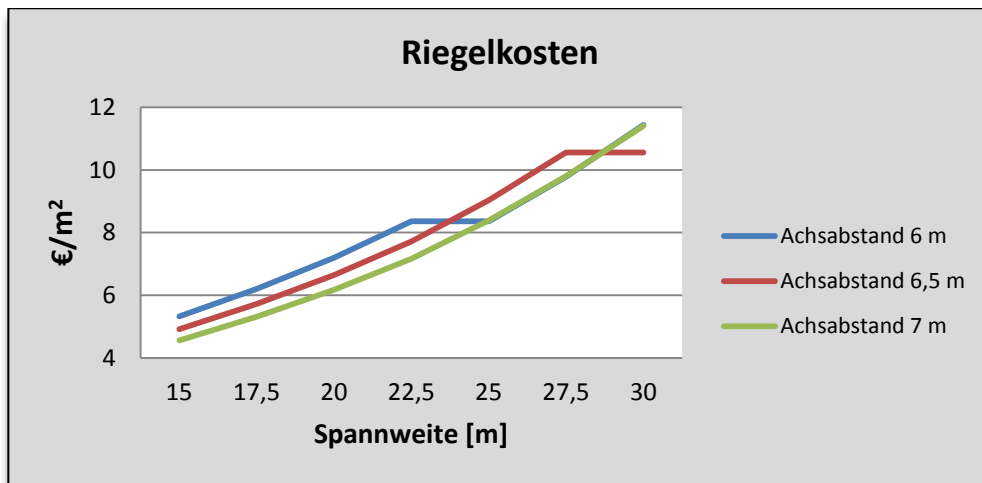


Abbildung 7.14 Riegelkosten

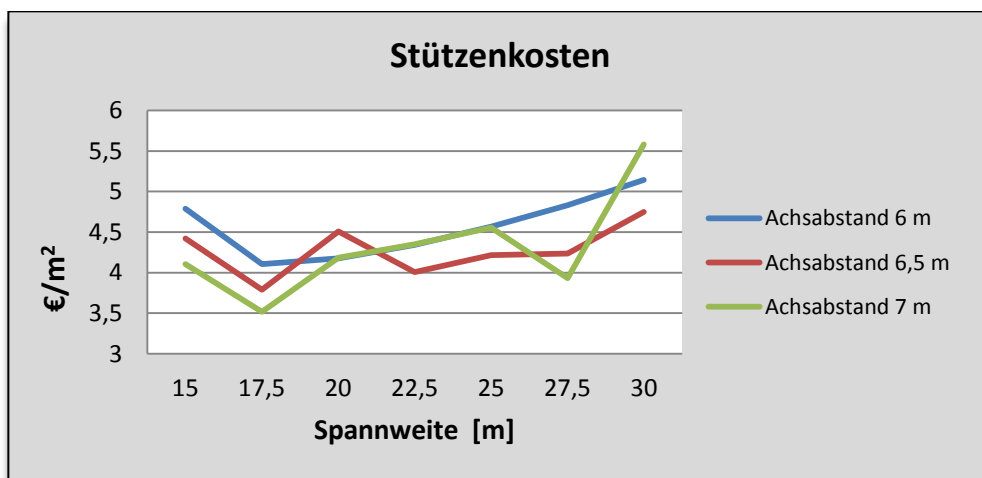


Abbildung 7.15 Stützenkosten

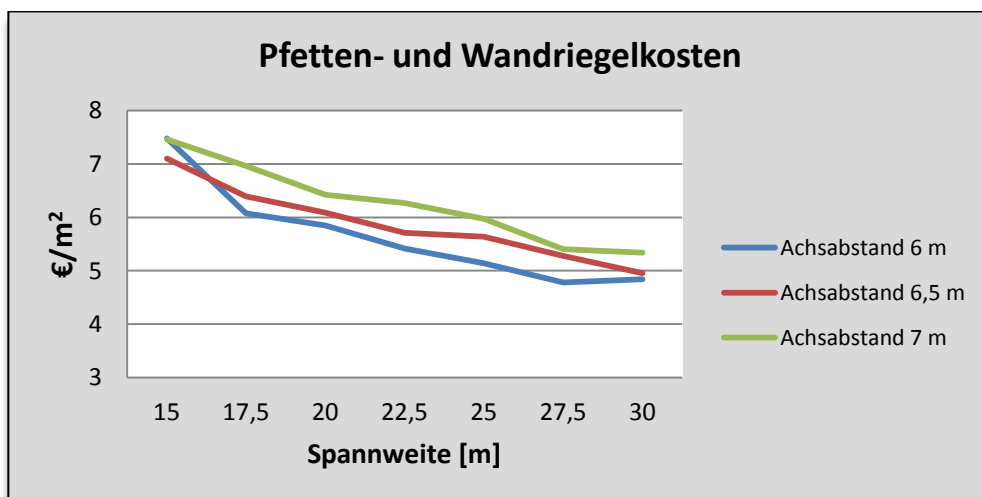


Abbildung 7.16 Pfetten- und Wandriegelkosten

Auswertung:

In den Abbildungen 7.14 bis 7.16 wird ersichtlich, dass mit steigender Spannweite bei allen Achsabständen die Riegelkosten enorm zunehmen, wohingegen der Preisanstieg der Stützen nur gering ist. Pfetten und Wandriegel werden mit zunehmender Spannweite im Verhältnis günstiger. Daraus lässt sich schließen, dass mit größer werdender Spannweite der Haupteinfluss auf den Gesamtpreis durch den Riegel verursacht wird.

Verhalten x-Achse	Folge		
	Riegelkosten	Stützenkosten	Pfetten/Wandriegelkosten
Spannweite ↑	↑↑	↑	↓

**Tabelle 26 Auswertung Stahlbaukosten**

↑↑ steigt stark

↑ steigt

↔ kontant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark



Stahlbaukosten prozentual

In den nachfolgenden Abbildungen wird die Aufschlüsselung der Stahlbaukosten nochmals prozentual in einem Balkendiagramm verdeutlicht.

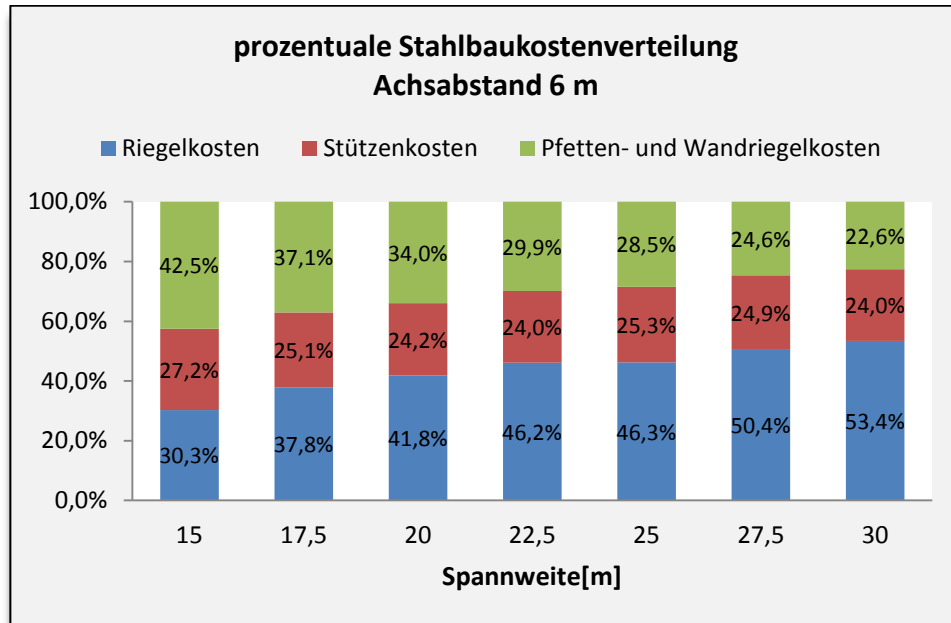


Abbildung 7.17 Stahlbaukostenverteilung 6 m

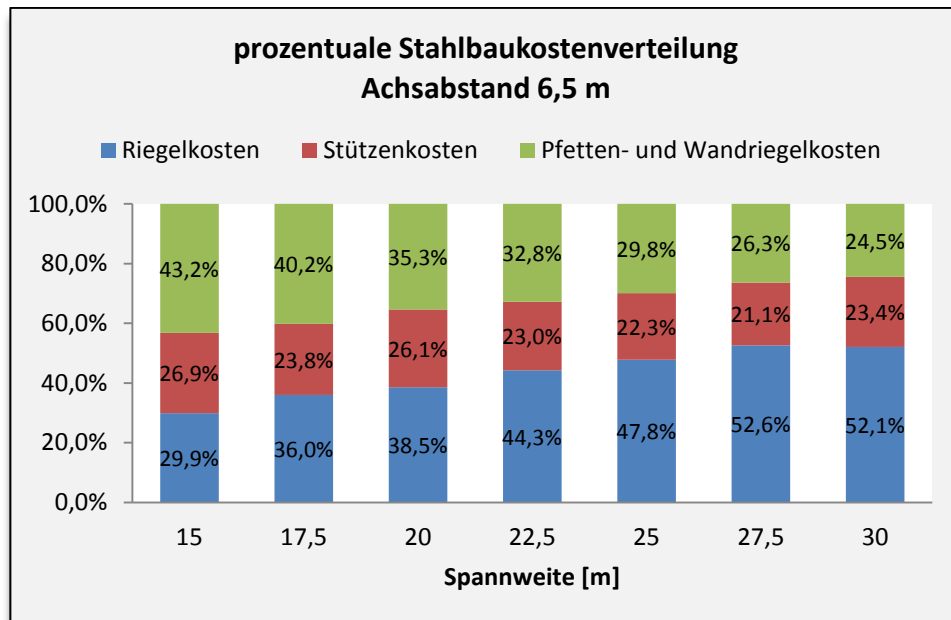
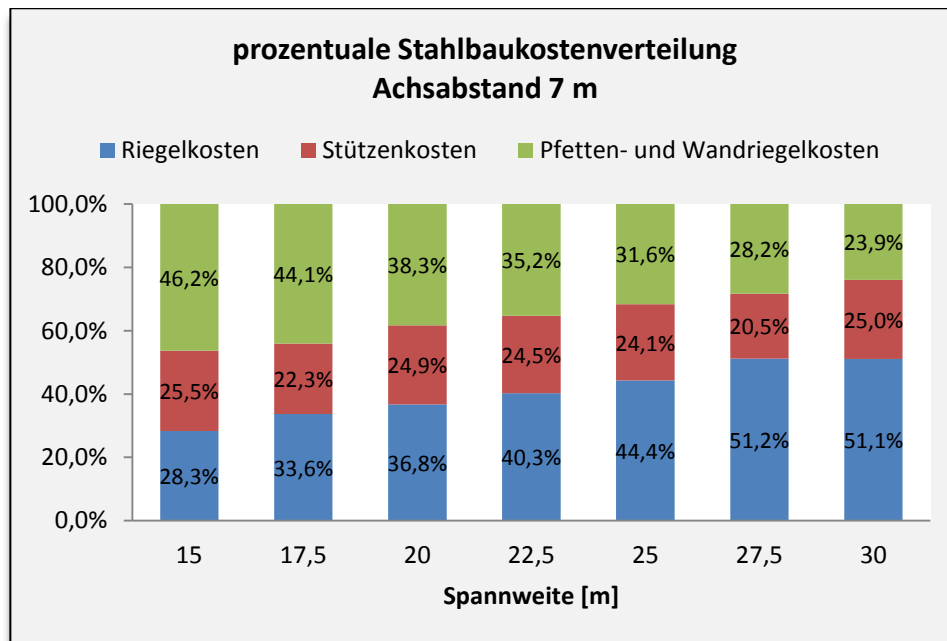


Abbildung 7.18 Stahlbaukostenverteilung 6,5 m



**Abbildung 7.19 Stahlbaukostenverteilung 7 m**

7.2.4 Gesamtmaterialkostenverteilung

In Abbildung 7.20 bis 7.26 werden die Gesamtkosten in Abhängigkeit der Spannweite und der Pfettenanzahl für jeden Achsabstand dargestellt.

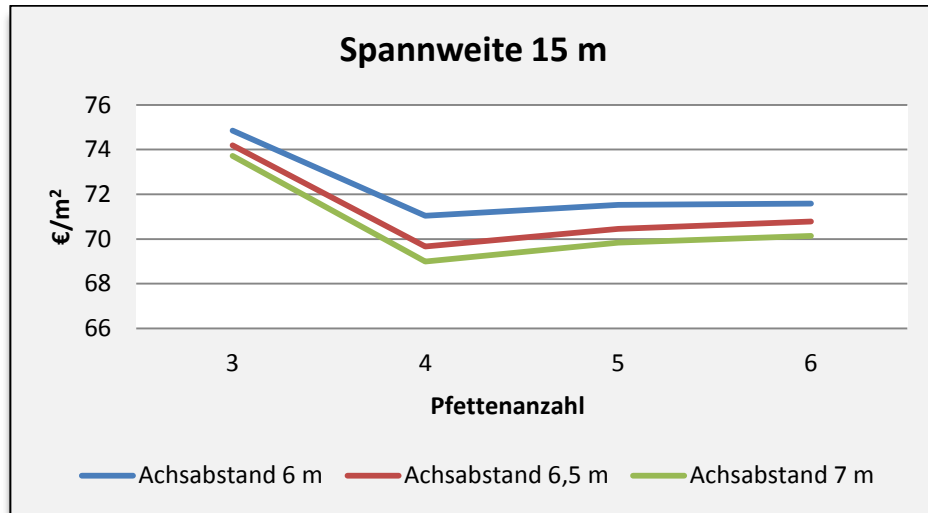


Abbildung 7.20 Gesamtmaterialkostenvergleich 15 m

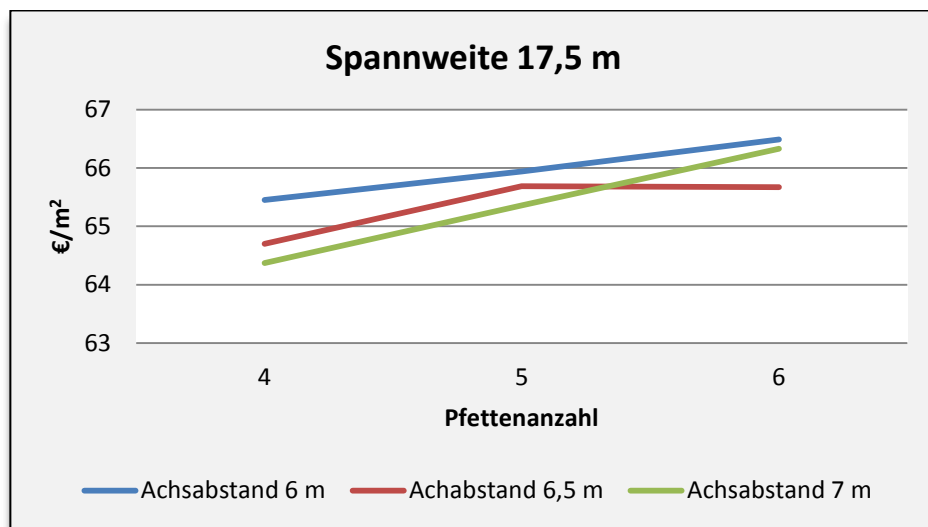


Abbildung 7.21 Gesamtmaterialkostenvergleich 17,5 m

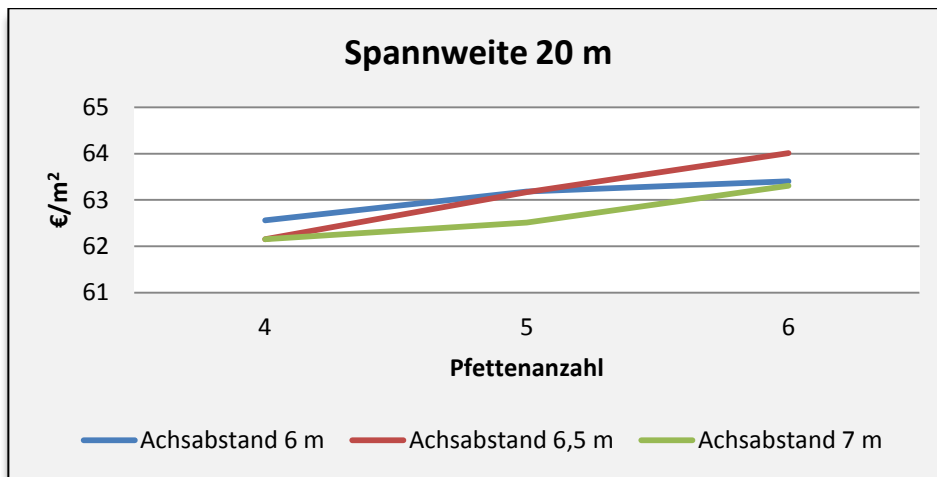


Abbildung 7.22 Gesamtmaterialkostenvergleich 20 m

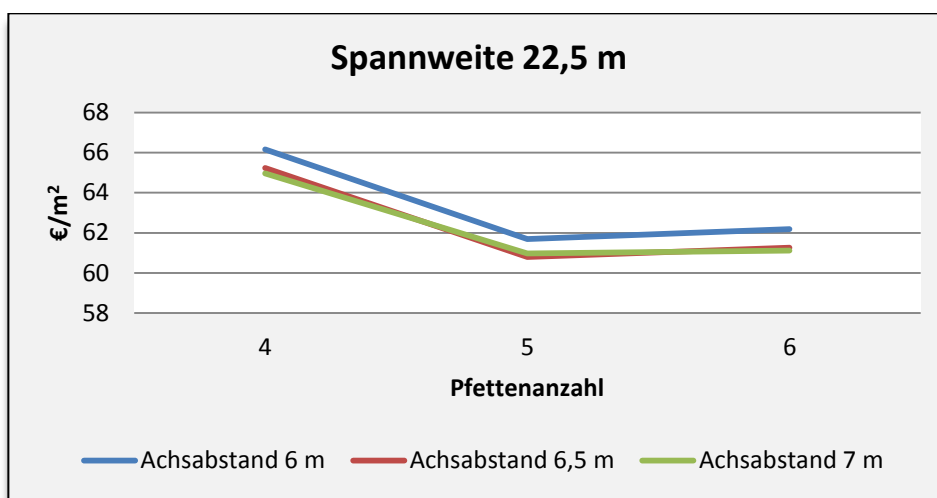


Abbildung 7.23 Gesamtmaterialkostenvergleich 22,5 m

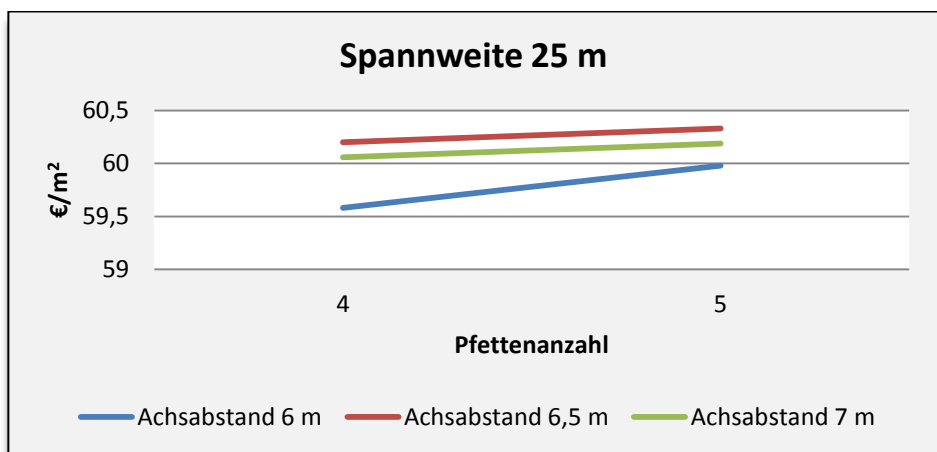


Abbildung 7.24 Gesamtmaterialkostenvergleich 25 m

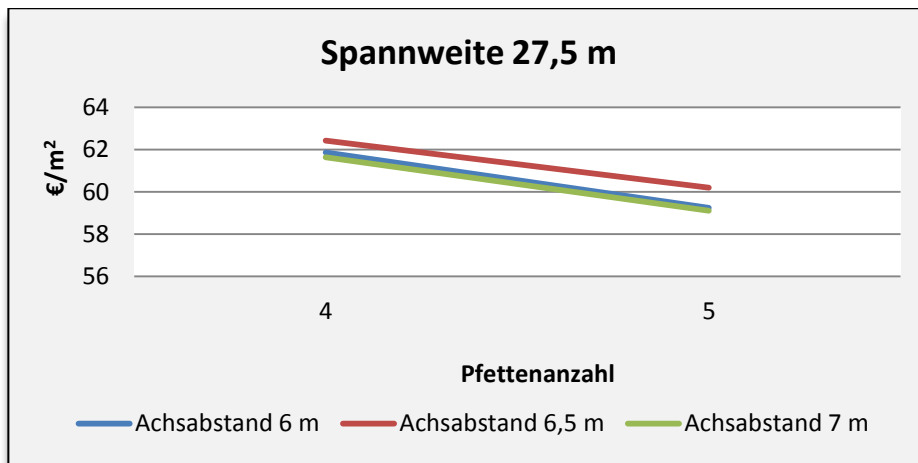


Abbildung 7.25 Gesamtmaterialkostenvergleich 27,5 m

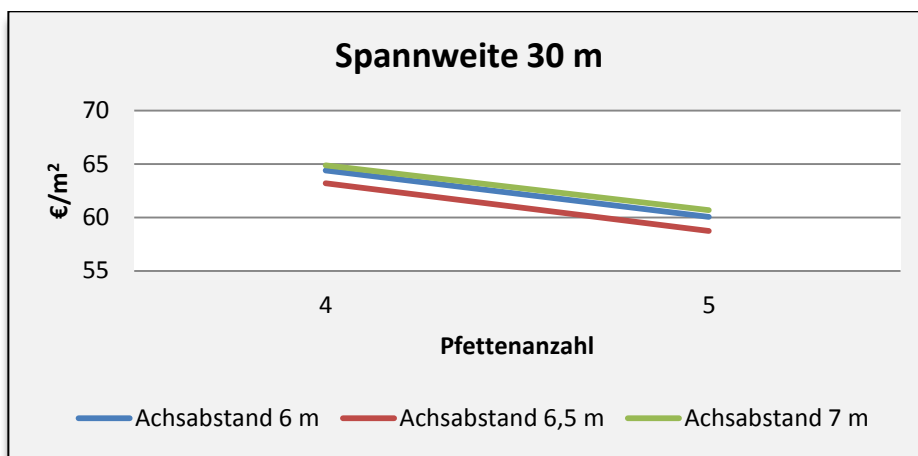


Abbildung 7.26 Gesamtmaterialkostenvergleich 30 m

Auswertung:

Bei Betrachtung aller Diagramme zeigt sich, dass mit steigender Spannweite der Gesamtpreis mit steigender Pfettenanzahl fällt. Hat man somit bei einer Spannweite von 15 m einen mit der Pfettenanzahl steigenden Gesamtpreis, sinkt dieser mit steigender Pfettenanzahl bei einer Spannweite von 30 m. Außerdem zeigt sich, dass nahezu bei allen Spannweiten die größeren Achsabstände (6,5 m und 7 m) die preisgünstigeren Lösungen sind. Dies ist auf die hohe Vielfalt der Z-Leichtbaupfetten zurückzuführen. Viele Materialdicken und Profilhöhen im Gegensatz zu Walzprofilen eröffnen ein großes feingefächertes Auswahlpektrum, welches günstige Preise und somit große Achsraster bei geringen Spannweiten zulässt.

Verhalten x-Achse	Folge
	Gesamtkosten
Pfettenanzahl ↑ Spannweite 15- 22,5 m	↑
Pfettenanzahl ↑ Spannweite 22,5 - 30 m	↓

**Tabelle 27 Auswertung Gesamtmaterialkosten**

↑↑ steigt stark

↑ steigt

↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

Um einen besseren Eindruck zu bekommen, wurden die zuvor gezeigten Diagramme in ein Gesamtkostendiagramm zusammengefasst (Abbildung 7.27). Hier wird auf einen Blick ersichtlich, dass mit steigendem Achsraster die Gesamtkosten für jede Spannweite nahezu auf einem Niveau bleiben.

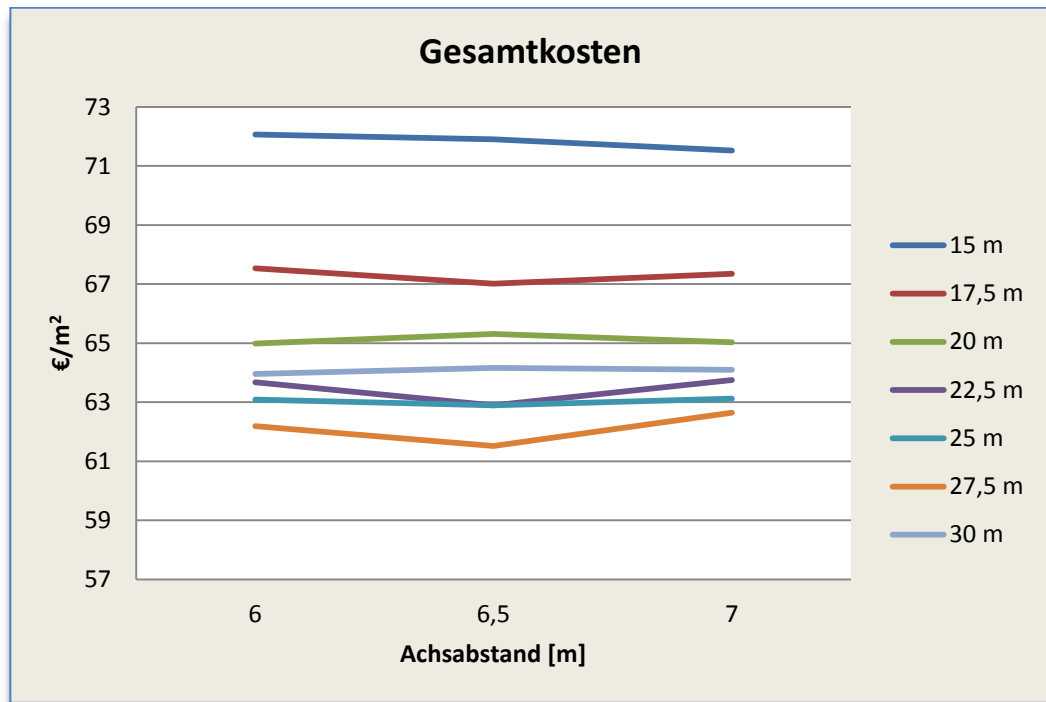


Abbildung 7.27 Gesamtkosten

### 7.3 Auswertung pfettenlose Dachkonstruktion mit Tragschale

#### 7.3.1 Aufstellung der günstigsten Varianten

In Tabelle 28 wurden aus den 63 zuvor beschriebenen Varianten die preisgünstigsten in Abhängigkeit von Spannweite und Achsabstand aufgeführt.

Spannweite [m]	Achsabstand [m]	Druckrohre pro Dachseite	Hüllkonstruktion [€/m <sup>2</sup> ]	Stahlbau [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamtkosten [€/m <sup>2</sup> ]
<b>15</b>	6	3	51,16	18,44	69,6
	6,5	3	52,21	17,5	69,71
	7	3	52,13	16,7	68,83
<b>17,5</b>	6	3	48,35	18,4	66,75
	6,5	3	47,78	17,4	65,18
	7	3	48,43	17,54	65,97
<b>20</b>	6	4	45,02	18,8	63,82
	6,5	4	44,87	18,87	63,74
	7	4	45,84	17,94	63,78
<b>22,5</b>	6	3	42,98	19,22	62,2
	6,5	5	42,84	19,28	62,12
	7	5	43,83	18,34	62,17
<b>25</b>	6	5	41,34	21,38	62,72
	6,5	5	41,22	20,15	61,37
	7	5	42,21	19,11	61,32
<b>27,5</b>	6	5	40	22	62
	6,5	5	39,89	20,69	60,58
	7	5	40,9	20,24	61,14
<b>30</b>	6	5	38,98	23,73	62,71
	6,5	5	38,79	22,26	61,05
	7	5	39,8	24,4	64,2

**Tabelle 28 günstigste Varianten pfettenlose Dachkonstruktion**



## 7.3.2 Materialkostenaufteilung

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 7.28 – 7.30) sind für die Achsabstände 6 m, 6,5 m und 7 m die Materialkostenaufteilung, getrennt in Hüllkonstruktion und Stahlbau abhängig von der Spannweite dargestellt. Als Grundlage für die Erstellung der Diagramme dienen die Werte aus Tabelle 22.

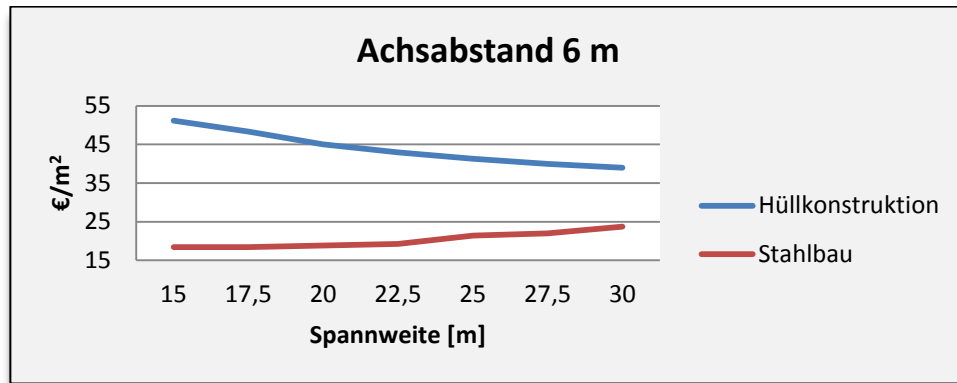


Abbildung 7.28 Materialkostenaufteilung 6 m

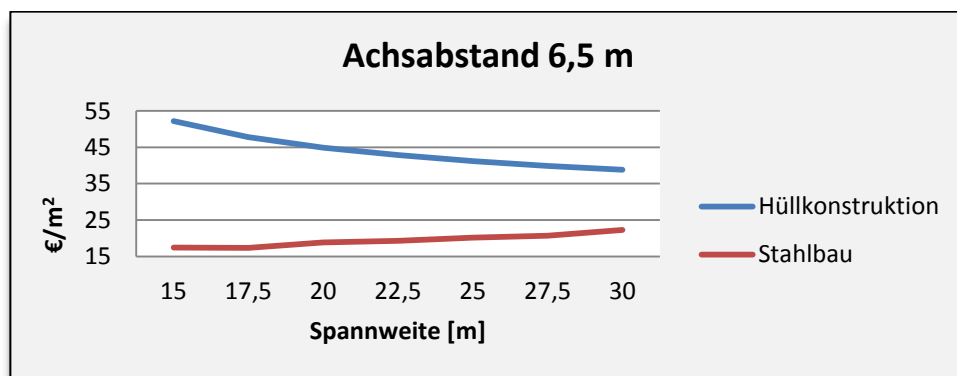


Abbildung 7.29 Materialkostenaufteilung 6,5 m

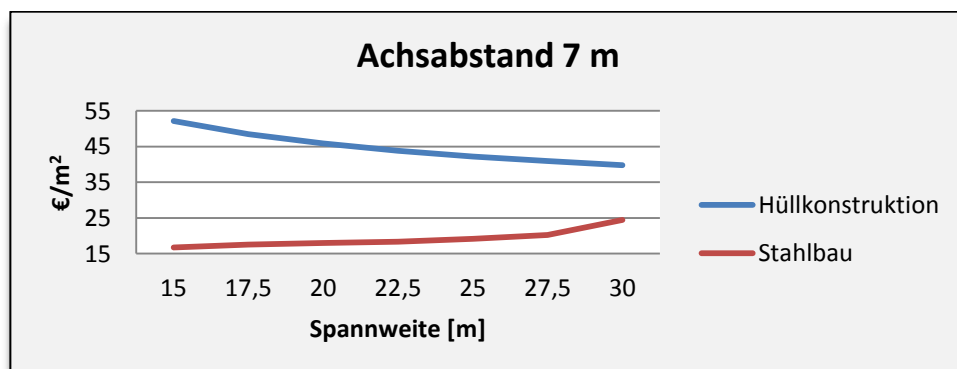


Abbildung 7.30 Materialkostenaufteilung 7 m

Auswertung:

In den Diagrammen wird eindeutig ersichtlich, dass mit zunehmender Spannweite die Preisdifferenz zwischen Hüllkonstruktion und Stahlbau geringer wird. Der Preis für den Stahlbau steigt aufgrund der zunehmenden Profilhöhe, gleichzeitig sinkt der Preis für die Hüllkonstruktion.

Verhalten x-Achse	Folge	
	Preis Hüllkonstruktion	Preis Stahlbau
Spannweite ↑	↓	↑

**Tabelle 29 Auswertung Materialkostenverteilung Achsabstände**

↑↑ steigt stark

↑ steigt

↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 7.31 - 7.37) sind für alle Spannweiten die Materialkosten, getrennt in Hüllkonstruktion und Stahlbau abhängig von dem Achsabstand dargestellt. Als Grundlage für die Erstellung der Diagramme dienen die Werte aus Tabelle 16.

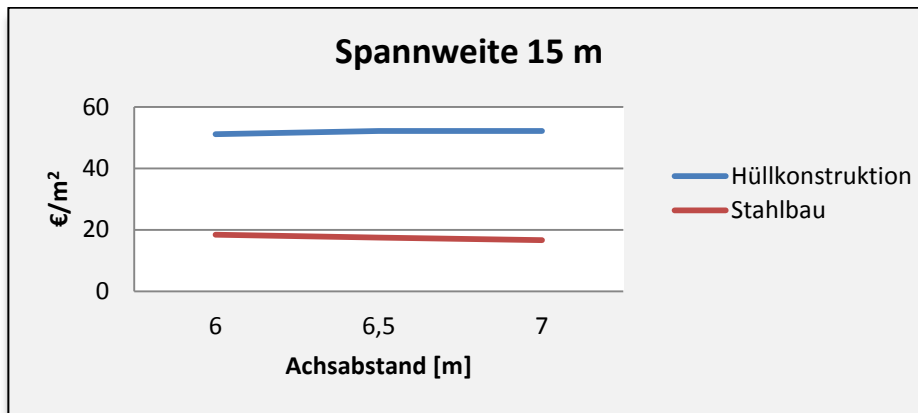


Abbildung 7.31 Materialkostenaufteilung 15 m

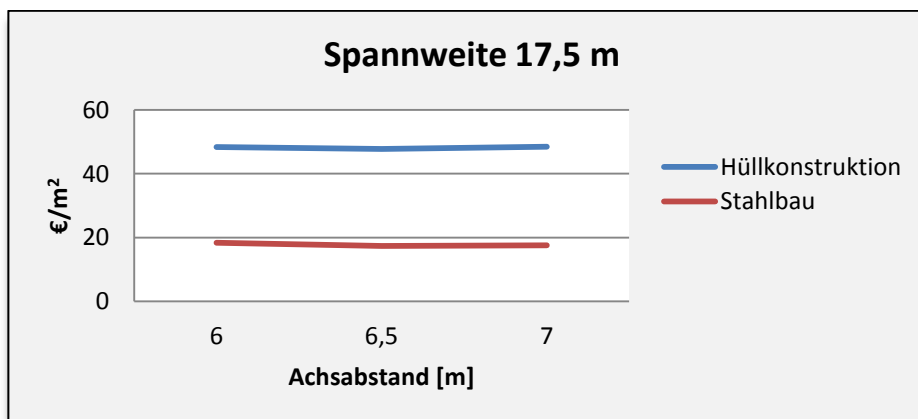


Abbildung 7.32 Materialkostenaufteilung 17,5 m

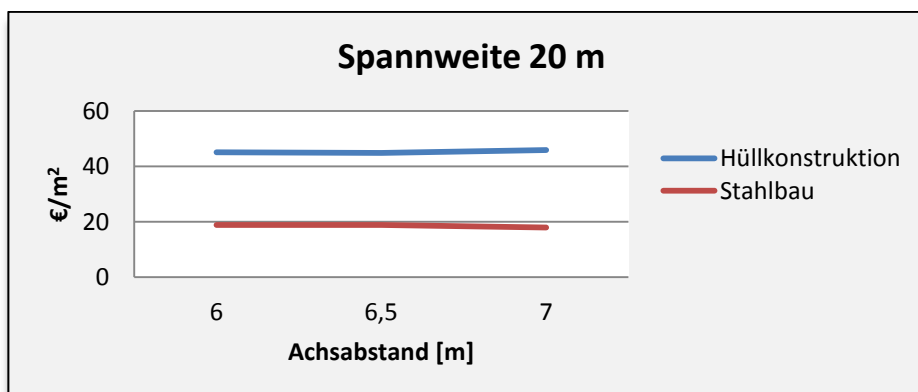


Abbildung 7.33 Materialkostenaufteilung 20 m

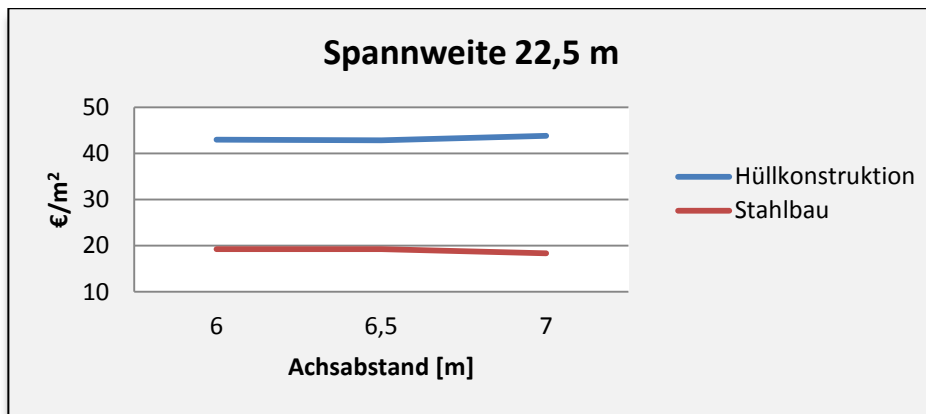


Abbildung 7.34 Materialkostenaufteilung 22,5 m

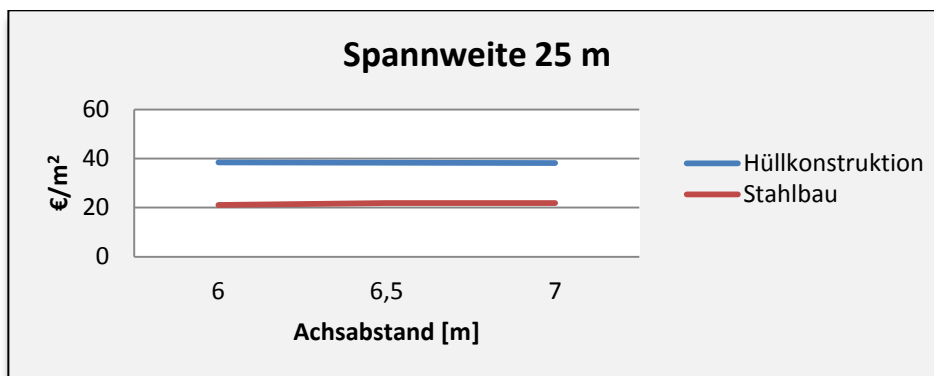


Abbildung 7.35 Materialkostenaufteilung 25 m

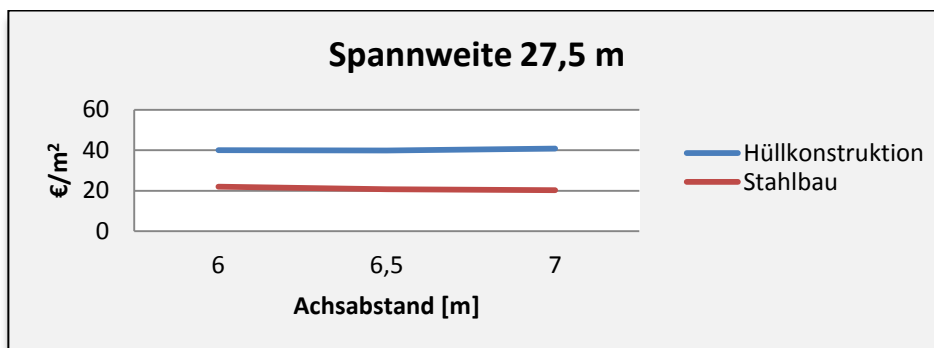


Abbildung 7.36 Materialkostenaufteilung 27,5 m

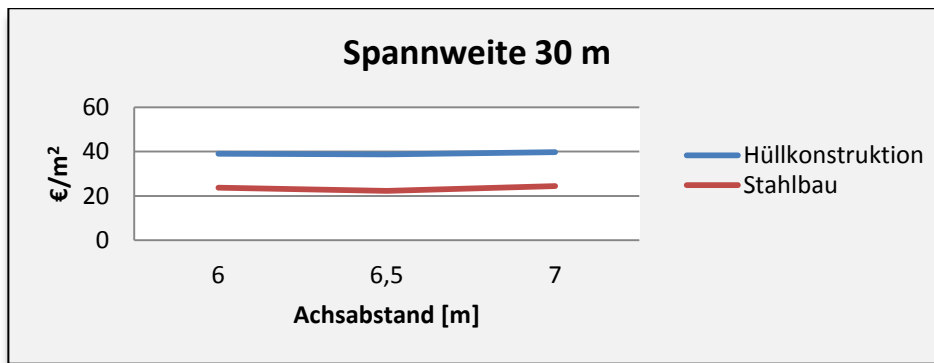


Abbildung 7.37 Materialkostenaufteilung 30 m

Auswertung:

In den Diagrammen wird eindeutig ersichtlich, dass mit zunehmendem Achsabstand die Preise für Hüllkonstruktion und Stahlbau nahezu konstant bleiben. Dies gilt für alle Spannweiten von 15 - 30 m. Daraus kann man entnehmen, dass die Änderung des Achsabstandes keinen Einfluss auf die Hüllkonstruktions- sowie Stahlbaukosten hat.

Verhalten x-Achse	Folge	
	Preis Hüllkonstruktion	Preis Stahlbau
Achsabstand ↑	↔	↔

Tabelle 30 Auswertung Materialkostenverteilung Achsabstände

↑↑ steigt stark

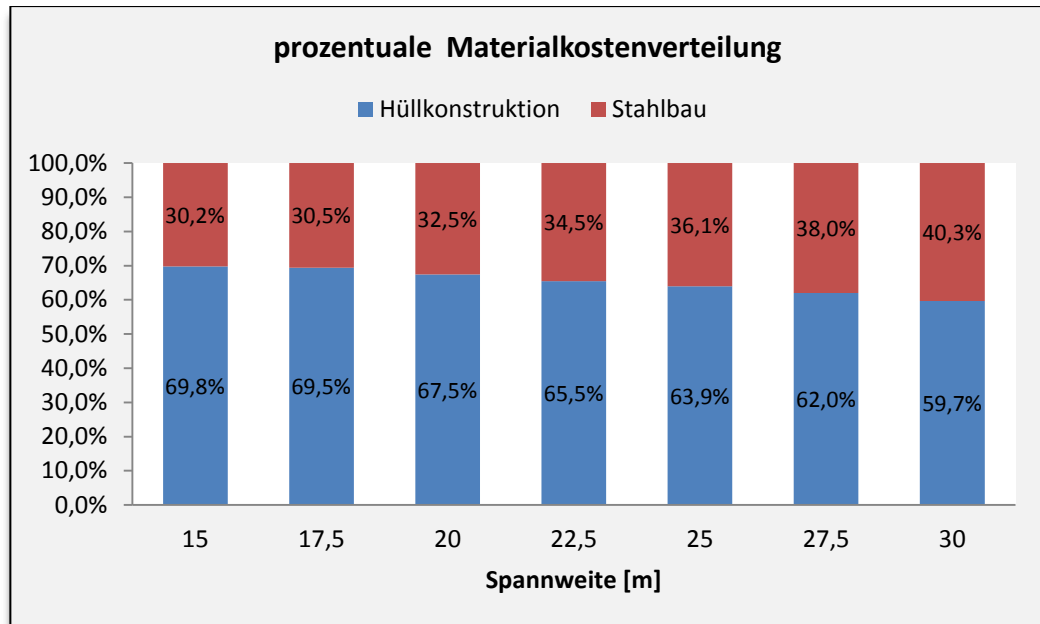
↑ steigt

↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

Um eine prozentuale Aussage über die Materialkostenverteilung für alle Spannweiten treffen zu können, wurden aus Tabelle 28 Werte entnommen und Mittelwerte für die einzelnen Spannweiten gebildet. Somit ergibt sich folgendes Diagramm:



**Abbildung 7.38 prozentuale Materialkostenverteilung**

Auswertung:

Man erkennt, dass sich mit größer werdender Spannweite die Materialkostenverteilung ändert. Liegt beispielsweise bei einer geringen Spannweite, wie 17,5 m die Kostverteilung bei ca. 30 % für Stahlbau und 70 % für Hüllkonstruktion, ändert sich diese bei einer Spannweite von 30 m zu 40 % Stahlbau und 60 % Hüllkonstruktion. Somit werden nochmals die folgenden Tendenzen festgestellt:

- Materialkostenangleichung zu höheren Spannweiten
- Materialkostenverteilung ist spannweitenabhängig
- Materialkostenverteilung ist nicht achsabstandsabhängig

## 7.3.3 Kosten Stahlbau

In der nachfolgenden Tabelle wurden die Stahlbaukosten aufgeschlüsselt. Das heißt, sie wurden anteilmäßig auf Riegel, Stützen und Wandriegel aufgeteilt. Grundlage für diese Aufstellung ist Tabelle 22 der günstigsten Varianten.

Spannweite [m]	Achsabstand [m]	Stahlbaukosten [€/m <sup>2</sup> ]	Riegelkosten[€/m <sup>2</sup> ]	Stützenkosten [€/m <sup>2</sup> ]	Pfetten/ Wandriegelkos- ten [€/m <sup>2</sup> ]	Riegelanteil [%]	Stützenanteil [%]	Pfetten/ Wandriegelan- teil [%]
15	6	22,06	6,20	4,79	4,21	40,8%	31,5%	27,7%
	6,5	20,92	5,72	4,42	4,22	39,9%	30,8%	29,4%
	7	20,44	5,31	4,10	3,91	39,9%	30,8%	29,4%
17,5	6	20,23	7,20	4,77	3,61	46,2%	30,6%	23,2%
	6,5	19,68	6,65	4,40	3,61	45,3%	30,0%	24,6%
	7	19,51	7,17	4,09	3,36	49,1%	28,0%	23,0%
20	6	20,98	7,20	4,88	3,53	46,1%	31,3%	22,6%
	6,5	19,92	5,82	3,85	3,52	44,1%	29,2%	26,7%
	7	20,06	5,40	3,58	3,27	44,1%	29,2%	26,7%
22,5	6	21,48	9,79	4,34	2,81	57,8%	25,6%	16,6%
	6,5	20,74	7,72	4,68	3,45	48,7%	29,5%	21,8%
	7	21,04	7,17	4,35	3,21	48,7%	29,5%	21,8%
25	6	21,12	9,79	5,31	3,11	53,7%	29,2%	17,1%
	6,5	21,88	9,03	4,90	3,11	53,0%	28,8%	18,2%
	7	21,86	8,39	4,55	2,89	53,0%	28,8%	18,2%
27,5	6	22,22	11,44	4,83	2,83	59,9%	25,3%	14,8%
	6,5	23,3	10,56	4,46	2,83	59,2%	25,0%	15,8%
	7	22,31	9,80	4,81	2,62	56,9%	27,9%	15,2%
30	6	24,23	13,31	5,14	2,59	63,3%	24,4%	12,3%
	6,5	23,01	12,29	4,74	2,59	62,6%	24,2%	13,2%
	7	25,05	11,41	5,99	2,40	57,6%	30,2%	12,1%

Tabelle 31 Kosten Stahlbau

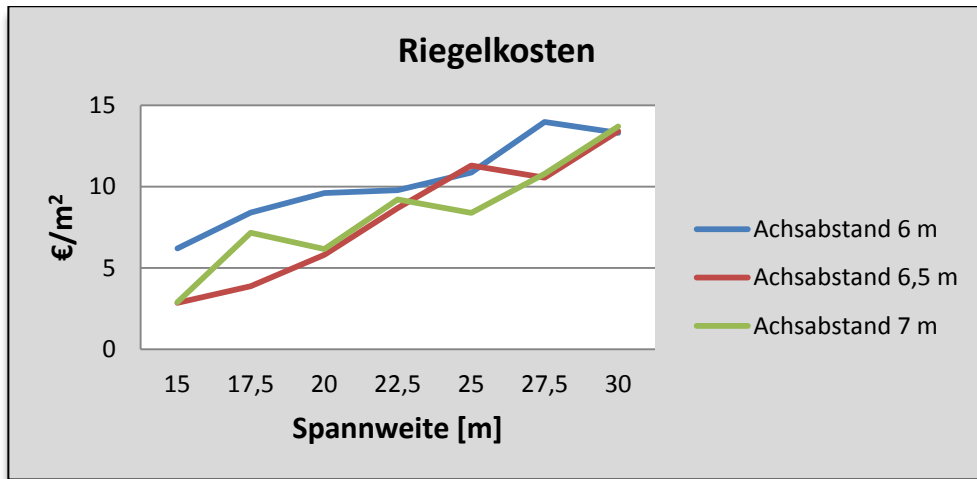


Abbildung 7.39 Riegelkosten

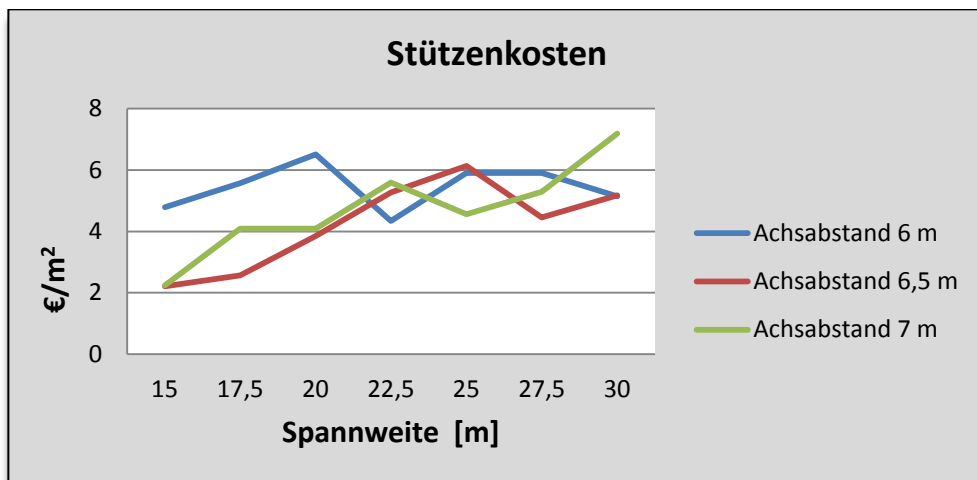


Abbildung 7.40 Stützenkosten

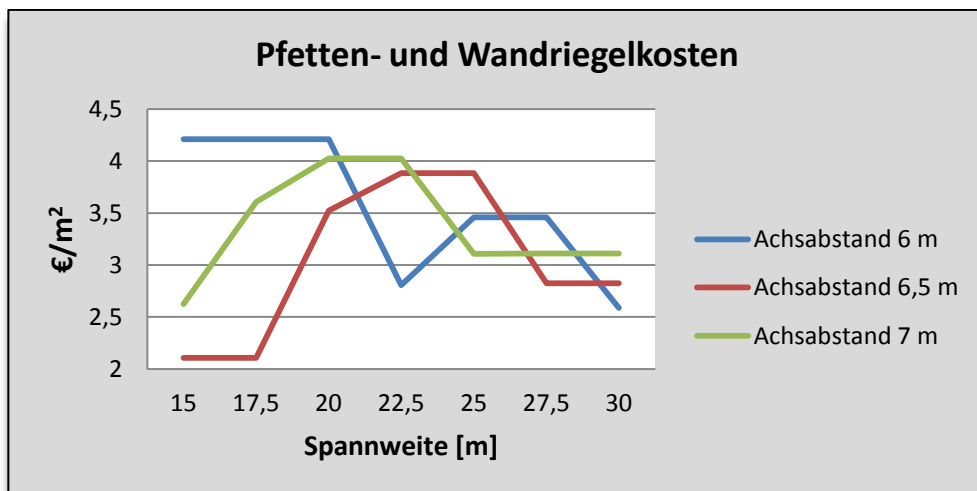


Abbildung 7.41 Pfetten- und Wandriegelkosten

Auswertung:



In den Abbildungen 7.39 bis 7.41 wird ersichtlich, dass mit steigender Spannweite bei allen Achsabständen die Riegelkosten enorm zunehmen, wohingegen der Preisanstieg der Stützen nur gering ist. Wandriegel werden mit zunehmender Spannweite im Verhältnis günstiger. Daraus lässt sich schließen, dass mit größer werdender Spannweite der Haupteinfluss auf den Gesamtpreis durch den Riegel verursacht wird.

Verhalten x-Achse	Folge		
	Riegelkosten	Stützenkosten	Pfetten/Wandriegelkosten
Spannweite ↑	↑↑	↑	↓

**Tabelle 32 Auswertung Kosten Stahlbau**

↑↑ steigt stark

↑ steigt

↔ kontant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

Stahlbaukosten prozentual

In den nachfolgenden Abbildungen wird die Aufschlüsselung der Stahlbaukosten nochmals prozentual in einem Balkendiagramm verdeutlicht.

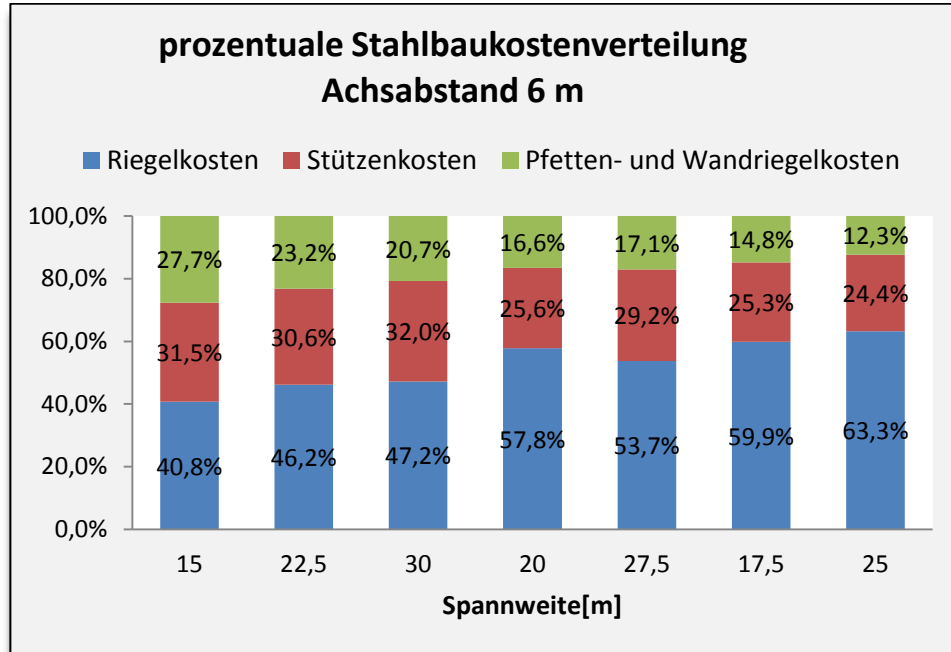


Abbildung 7.42 Stahlbaukostenverteilung 6 m

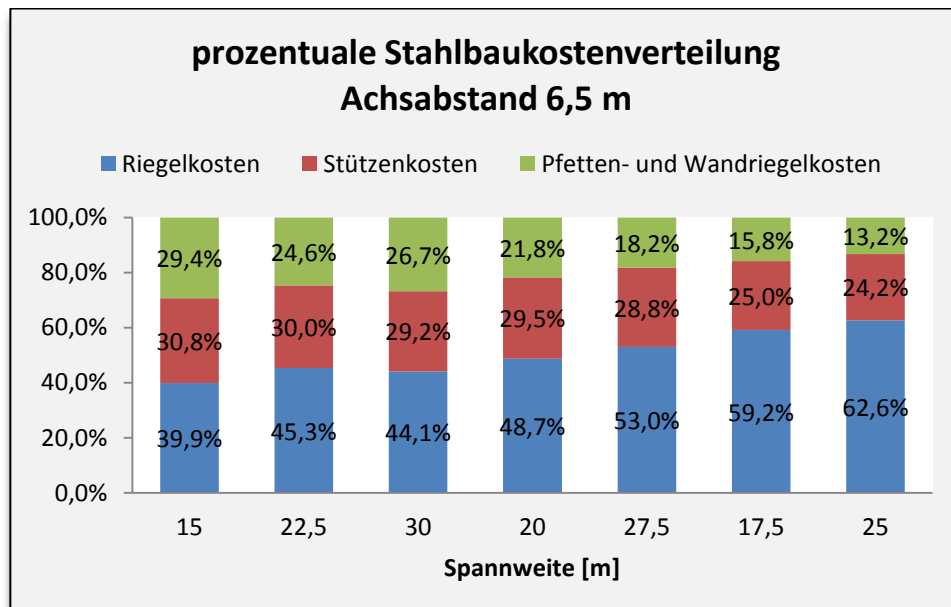
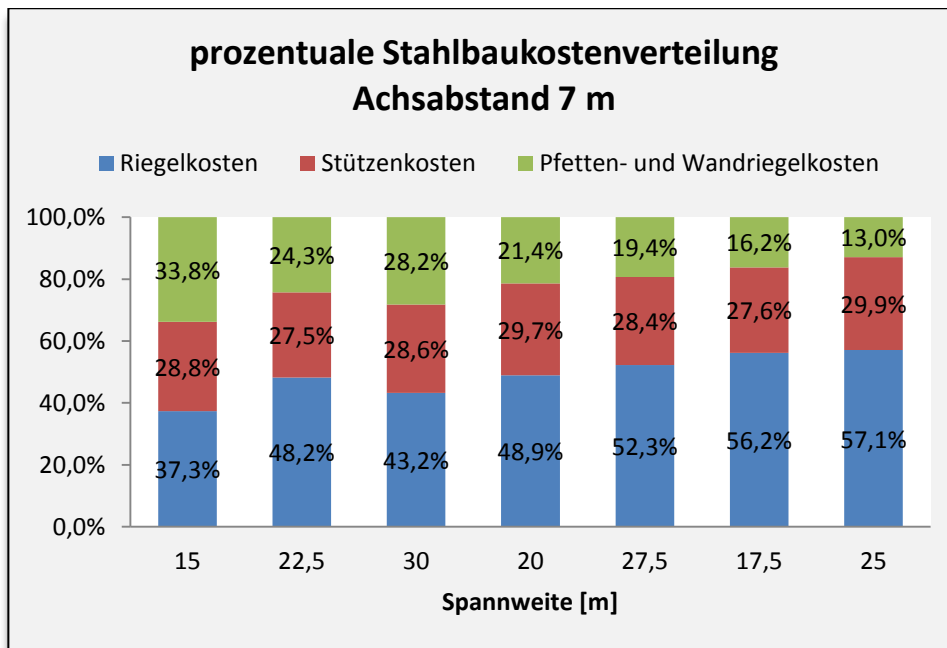


Abbildung 7.43 Stahlbaukostenverteilung 6,5 m



**Abbildung 7.44 Stahlbaukostenverteilung 7 m**

7.3.4 Gesamtmaterialkostenverteilung

In Abbildung 7.45 bis 7.51 werden die Gesamtkosten in Abhängigkeit der Spannweite und der Druckrohranzahl für jeden Achsabstand dargestellt.

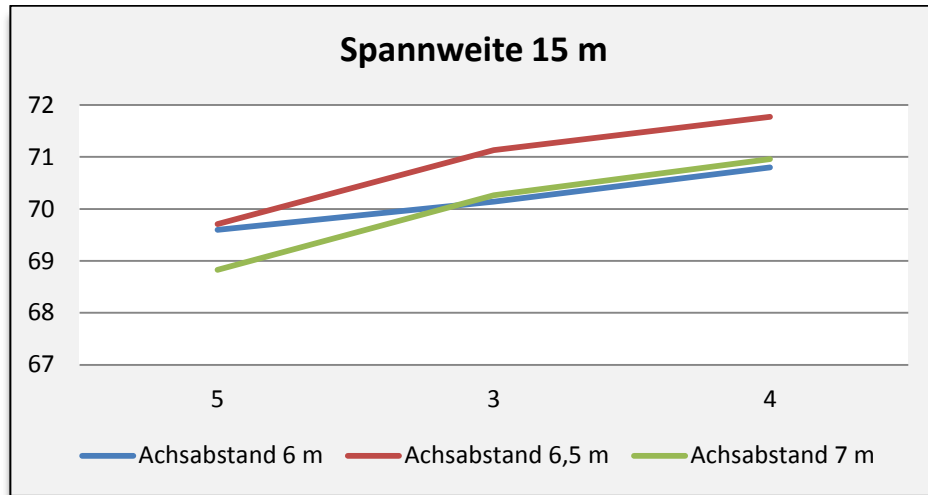


Abbildung 7.45 Gesamtmaterialkostenverteilung 15 m

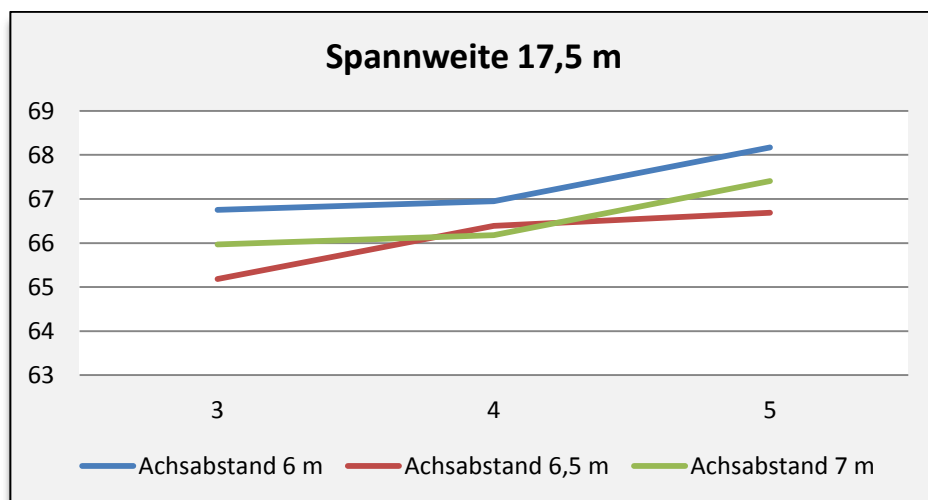
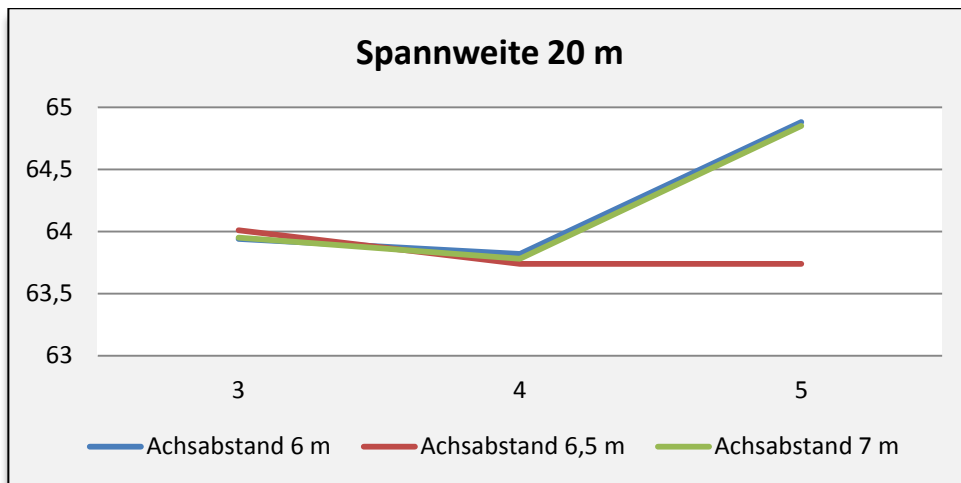
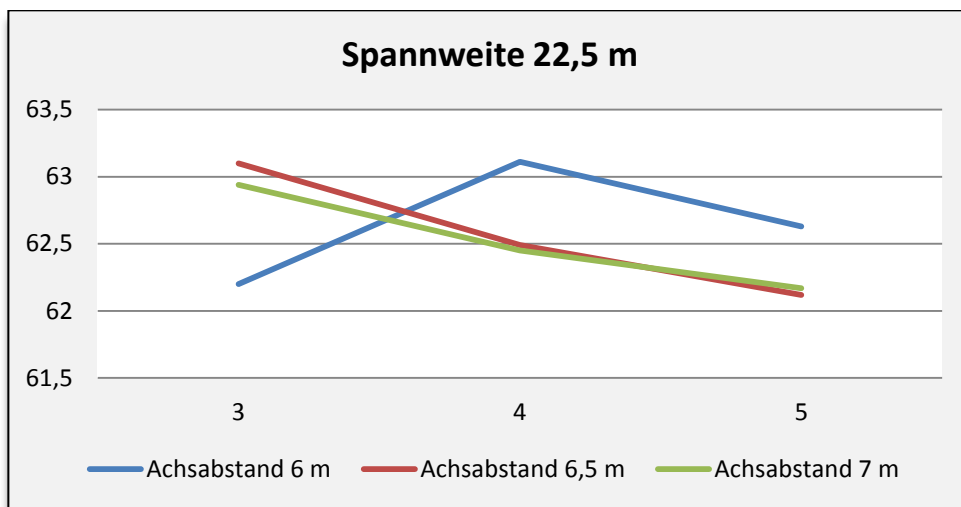


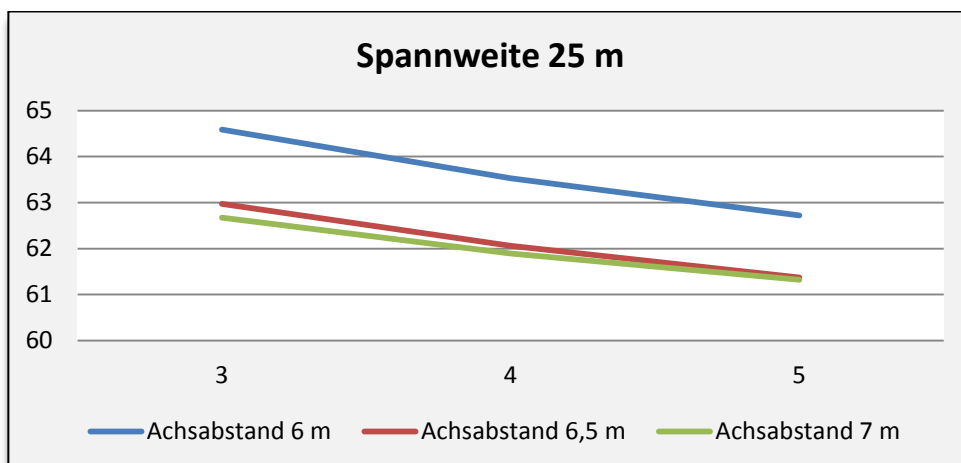
Abbildung 7.46 Gesamtmaterialkostenverteilung 17,5 m



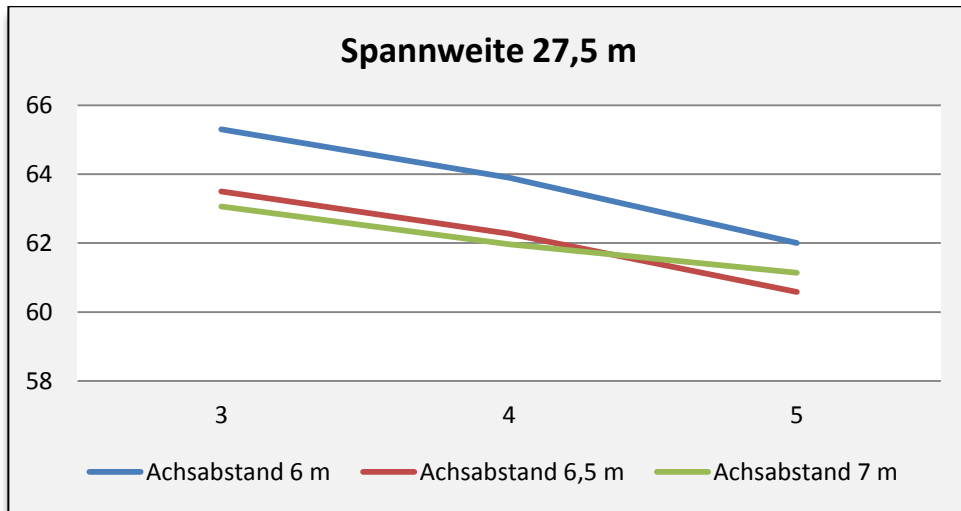
**Abbildung 7.47 Gesamtmaterialkostenverteilung 20 m**



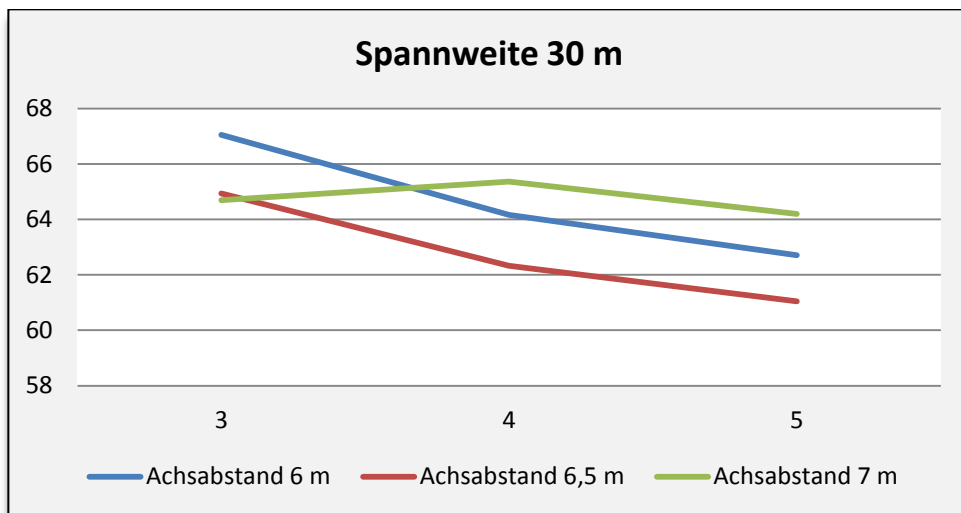
**Abbildung 7.48 Gesamtmaterialkostenverteilung 22,5 m**



**Abbildung 7.49 Gesamtmaterialkostenverteilung 25 m**



**Abbildung 7.50 Gesamtmaterialkostenverteilung 27,5 m**



**Abbildung 7.51 Gesamtmaterialkostenverteilung 30 m**

Auswertung:

Bei Betrachtung aller Diagramme zeigt sich, dass mit steigender Spannweite der Gesamtpreis mit steigender Druckrohranzahl fällt. Hat man somit bei einer Spannweite von 15 m einen mit der Druckrohranzahl steigenden Gesamtpreis, sinkt dieser mit steigender Druckrohranzahl bei einer Spannweite von 30 m. Außerdem zeigt sich, dass nahezu bei allen Spannweiten die größeren Achsabstände (6,5 m und 7 m) die preisgünstigeren Lösungen sind.

Verhalten x-Achse	Folge
	Gesamtkosten
Druckrohranzahl ↑ Spannweite 15- 22,5 m	↑
Druckrohranzahl ↑ Spannweite 22,5 - 30 m	↓

**Tabelle 33 Gesamtmaterialkostenverteilung**

↑↑ steigt stark

↑ steigt

↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

Um nochmals einen besseren Eindruck zu bekommen, wurden die zuvor gezeigten Diagramme in einem Gesamtkostendiagramm zusammengefasst (Abbildung 7.52). Hier wird auf einen Blick ersichtlich, dass mit steigendem Achsraster die Gesamtkosten für jede Spannweite nahezu auf einem Niveau bleiben.

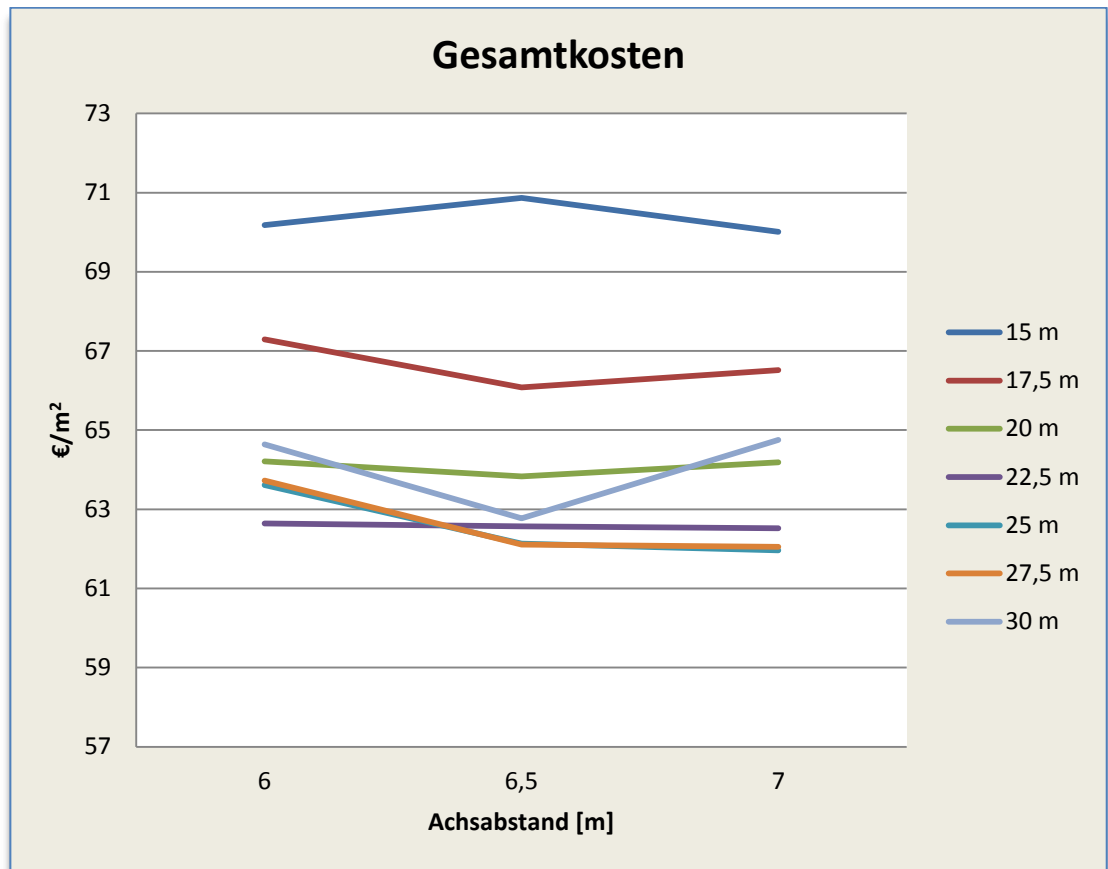


Abbildung 7.52 Gesamtkosten



## 7.4 Variantenvergleich Pfettendach - pfettenloses Dach

### 7.4.1 Aufstellung der günstigsten Varianten

In Tabelle 34 wurden aus den 147 zuvor beschriebenen Varianten die preisgünstigsten Varianten in Abhängigkeit von Spannweite und Achsabstand für beide Dachkonstruktionen aufgeführt.

Spannweite [m]	Achsraster [m]	Pfettendach				pfettenloses Dach			
		Pfettenanzahl pro Dachseite	Stahlbaukosten [€/m <sup>2</sup> ]	Hüllkonstruktionskosten [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamtkosten [€/m <sup>2</sup> ]	Druckrohranzahl pro Dachseite	Stahlbaukosten [€/m <sup>2</sup> ]	Hüllkonstruktionskosten [€/m <sup>2</sup> ]	Gesamtkosten [€/m <sup>2</sup> ]
15	6	4	49,63	21,42	71,05	3	51,16	18,44	69,6
	6,5	6	49,6	22,03	71,63	3	52,21	17,5	69,71
	7	4	49,57	21,19	70,76	3	52,13	16,7	68,83
17,5	6	4	46,14	20,9	67,04	3	48,35	18,4	66,75
	6,5	4	46,11	20,42	66,53	3	47,78	17,4	65,18
	7	4	46,09	20,94	67,03	3	48,43	17,54	65,97
20	6	5	43,52	20,98	64,5	4	45,02	18,8	63,82
	6,5	4	43,5	21,64	65,14	4	44,87	18,87	63,74
	7	4	43,47	21,05	64,52	4	45,84	17,94	63,78
22,5	6	5	41,48	21,48	62,96	3	42,98	19,22	62,2
	6,5	5	41,46	20,74	62,2	5	42,84	19,28	62,12
	7	6	41,44	21,19	62,63	5	43,83	18,34	62,17
25	6	5	39,85	22,54	62,39	5	41,34	21,38	62,72
	6,5	6	39,83	22,01	61,84	5	41,22	20,15	61,37
	7	6	39,82	21,99	61,81	5	42,21	19,11	61,32
27,5	6	5	38,52	23,84	62,36	5	40	22	62
	6,5	5	38,5	22,88	61,38	5	39,89	20,69	60,58
	7	5	38,49	22,87	61,36	5	40,9	20,24	61,14
30	6	6	37,41	24,23	61,64	5	38,98	23,73	62,71
	6,5	6	37,39	24,75	62,14	5	38,79	20,53	59,32
	7	6	37,38	25,05	62,43	5	39,95	20,99	60,94

Tabelle 34 günstigste Varianten

## 7.4.2 Materialkostenaufteilung

In den folgenden Diagrammen (Abbildung 7.53 - 7.54) sind für beide Dachkonstruktionen die Materialkosten, getrennt in Hüllkonstruktion und Stahlbau abhängig von der Spannweite dargestellt. Die Aufteilung gilt für alle Achsabstände. Aufgrund der geringen Abweichungen wurden diese zusammengefasst und somit für jede Spannweite ein Mittelwert gebildet. Als Grundlage für die Erstellung der Diagramme dienen die Werte aus Tabelle 28.

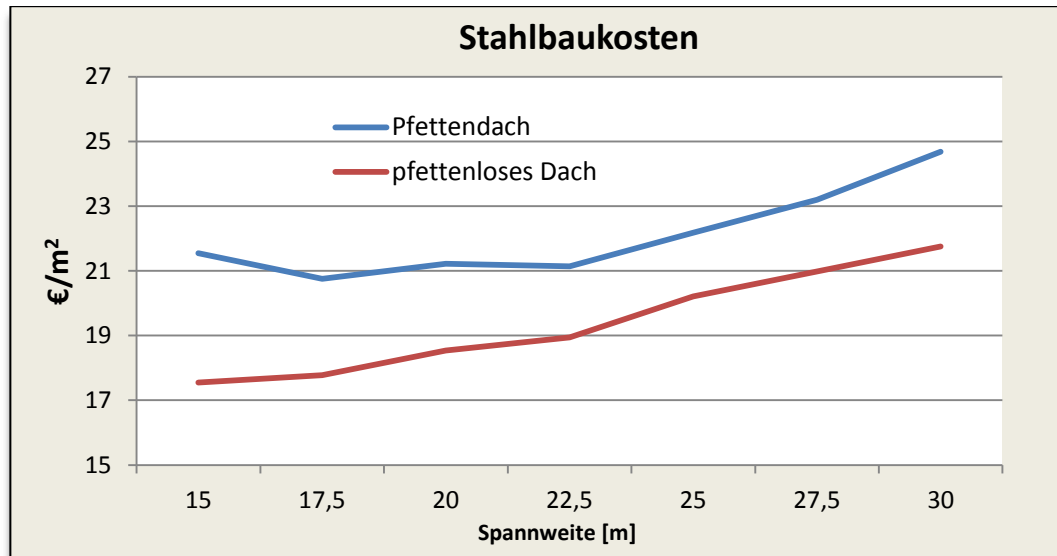


Abbildung 7.53 Materialkostenverteilung Stahlbau

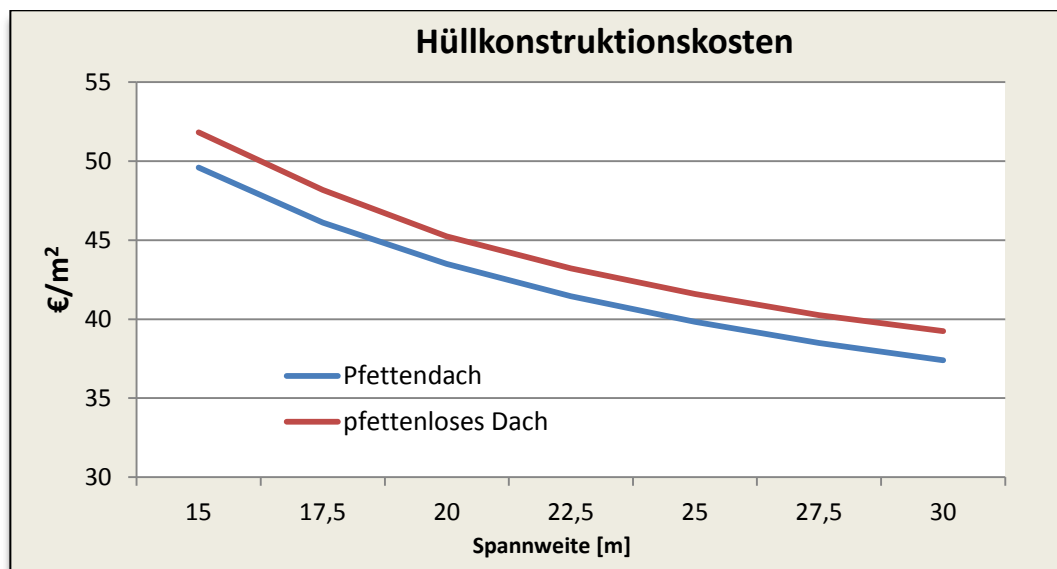


Abbildung 7.54 Materialkostenverteilung Hüllkonstruktion

Auswertung:

In den Abbildungen 7.53 und 7.54 zeigt sich, dass mit zunehmender Spannweite die Stahlbaukosten für beide Varianten zunehmen. Hierbei ist zu erwähnen, dass das Pfettendach im direkten Vergleich immer etwas kostenintensiver ist. Dies liegt an den hier verwendeten zusätzlichen Pfetten. Die Kosten für die Hüllkonstruktion sinken dagegen mit zunehmender Spannweite bei beiden Konstruktionen. Im direkten Vergleich erkennt man, dass die Hüllkonstruktionskosten des pfettenlosen Daches höher sind.

Verhalten x-Achse	Folge	
	Preis Hüllkonstruktion	Preis Stahlbau
Spannweite ↑	↓	↑

**Tabelle 35 Auswertung Materialkostenverteilung**

↑↑ steigt stark

↑ steigt

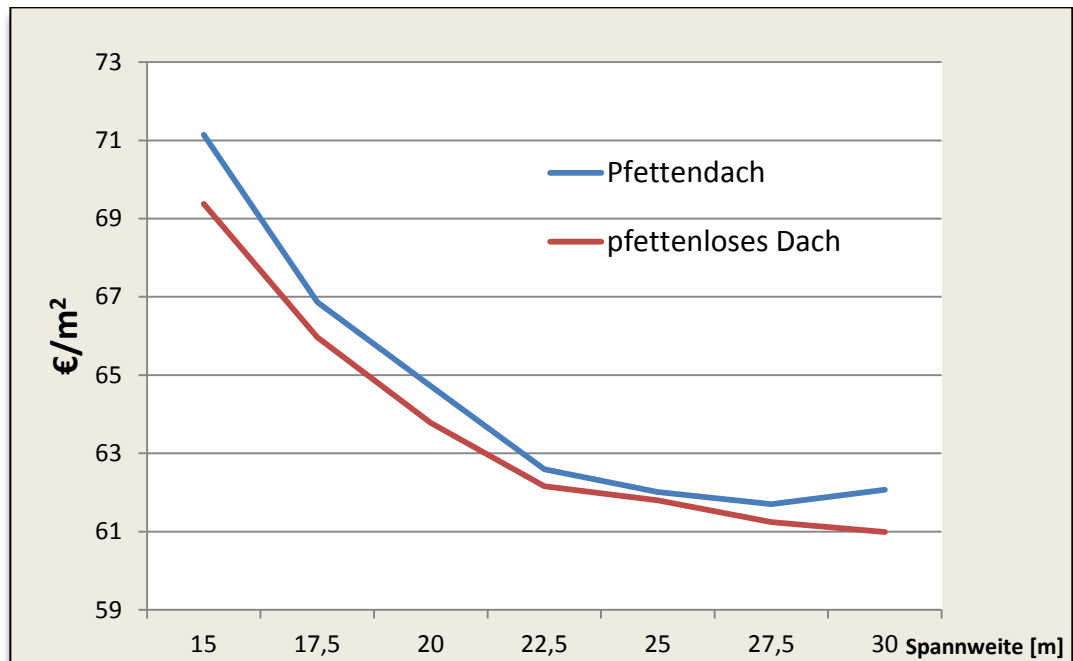
↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

## 7.4.3 Gesamtmaterialekosten

In Abbildung 7.55 wird der Gesamtpreis in Abhängigkeit von Spannweite und der jeweiligen Dachkonstruktion gezeigt.



**Abbildung 7.55 Gesamtmaterialekosten**

Auswertung:

In den Abbildungen 7.55 wird ersichtlich, dass mit zunehmender Spannweite die Gesamtkosten beider Varianten abnehmen, wobei der Gesamtpreis bei dem Pfettendach immer etwas höher liegt. Ab einer Spannweite von ca. 27,5 m kommt es zu einer Spreizung der Kurven, d. h., dass die Gesamtkosten des Pfettendaches steigen, wohingegen die Gesamtkosten des pfettenlosen Daches weiter sinken.

Auswertung:

Verhalten x-Achse	Folge	
	Gesamtkosten pfettenloses Dach	Gesamtkosten Pfettendach
Spannweite ↑	↓	↓

**Tabelle 36 Auswertung Gesamtmaterialekosten**

↑↑ steigt stark

↑ steigt

↔ konstant

↓ sinkt

↓↓ sinkt stark

## **8. Zusammenfassung**

### **8.1 Pfettendach**

#### **Stahlbaukosten:**

- Einsatz von Z-Leichtbaupfetten
  - Wahl der Pfettenhöhe
  - Materialdicken gering halten
- Mit zunehmendem Achsabstand steigen die Pfettenkosten aufgrund größerer Auslastung und somit größeren Profilen.
- Mit zunehmender Spannweite :
  - Pfettenkosten verringern sich prozentual fast um die Hälfte
  - Riegelkosten verdoppeln sich fast
  - Stützenkosten bleiben prozentual konstant
- Bei geringer Spannweite und hoher Pfettenanzahl steigen die Gesamtkosten im Verhältnis zur Grundfläche.
- Bei großer Spannweite und hoher Pfettenanzahl sinken die Gesamtkosten im Verhältnis zur Grundfläche.
- Anpassung der Pfettenanzahl nach Sandwichtragfähigkeit ist sinnvoll.

#### **Hüllkonstruktionskosten:**

- Mit steigender Pfettenanzahl sinken Hüllkonstruktionskosten aufgrund kleiner werdender Lasteinzugsfläche und somit kleiner werdender Sandwichprofile.
- Bei allen untersuchten Varianten sinken die Hüllkonstruktionskosten mit steigenden Achsabstand und steigender Spannweite im Verhältnis zur Grundfläche.
- Es macht Sinn, das Sandwichprofil in Kombination mit der Pfette auszuwählen, um optimale Auslastungen in beiden Profilen zu erlangen.

#### **Gesamtkosten:**

- Mit zunehmender Spannweite gleichen sich die Stahlbau- und Hüllkonstruktionskosten an bzw. die Preisdifferenz im Verhältnis zur Grundfläche wird geringer.
- Die Änderung des Achsabstandes hat nahezu keinen Einfluss auf Hüllkonstruktion und Stahlbaukosten.

## **8.2 Pfettenloses Dach**

### **Stahlbaukosten:**

- Mit zunehmender Spannweite :
  - Riegelkosten steigen enorm
  - Stützenkosten bleiben prozentual nahezu konstant

### **Hüllkonstruktionskosten:**

- Bei allen untersuchten Varianten sinken die Hüllkonstruktionskosten mit steigendem Achsabstand und steigender Spannweite im Verhältnis zur Grundfläche.
- Mit steigendem Achsabstand bleiben Hüllkonstruktionskosten bezogen auf die Grundfläche nahezu konstant.

### **Gesamtkosten:**

- Mit zunehmender Spannweite gleichen sich die Stahlbau- und Hüllkonstruktionskosten an bzw. die Preisdifferenz im Verhältnis zur Grundfläche wird geringer.
- Die Änderung des Achsabstandes hat nahezu keinen Einfluss auf Hüllkonstruktion und Stahlbaukosten.

### 8.3 Vergleich beider Dachkonstruktionen

Die Auswertung der vergleichenden Untersuchung beider Dachkonstruktionen zeigte, dass die Wahl einer Konstruktion in der Praxis relativ kompliziert und schwierig ist. Unzählige Varianten erschweren dies.

Die Untersuchung bezog sich nur auf die Materialkosten. Die Unterteilung in Hüllkonstruktion und Stahlbau erwies sich als sinnvoll und geeignet. Beide Varianten zeigten in Abhängigkeit von Spannweite und Achsabstand einen ähnlichen Materialkostenverlauf.

Im direkten Gesamtkostenvergleich bezüglich der Spannweite lässt sich erkennen, dass ab ca. 27,5 m die Kurven auseinander triffen. Von da an steigen einerseits die Kosten für die Pfettendachkonstruktion, andererseits sinken die Kosten für die pfettenlose Konstruktion im Verhältnis zur Grundfläche. Dies ist darauf zurückzuführen, weil die Gesamtkosten für das Pfettendach aufgrund größer werdender Lasteinzugsfläche und die somit verbundene Anpassung der Sandwichprofile zu größeren Materialdicken die Hüllkonstruktionskosten steigen lassen. Ein weiterer Anstieg der Stahlbaukosten ist durch die größer werdende Anzahl an Pfetten zu verzeichnen. Die Spannrichtung der Sandwichelemente ist bekanntlich quer zur Halle. Die Anpassung erfolgt in Abhängigkeit der Spannweite und Pfettenanzahl und beeinflusst Hüllkonstruktions- sowie Stahlbaukosten, wohingegen bei der pfettenlosen Konstruktion nur der Achsabstand die Hauptrolle der Kostensteigerung spielt. Mit steigendem Achsabstand vergrößert sich das Trapezprofil, wodurch sich die Hüllkonstruktionskosten erhöhen. Aufgrund dieser Erkenntnisse zeigt sich, dass ab Spannweiten von ca. 27,5 m die Materialkosten der pfettenlosen Konstruktion geringer sind.

Arbeits- bzw. Lohnkosten wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, sind aber ebenfalls ausschlaggebend für die Wahl der richtigen Konstruktion. Aufgrund dessen ist eine genaue Kalkulation unumgänglich.



## 9. Anhang I Nachweisstruktogramme

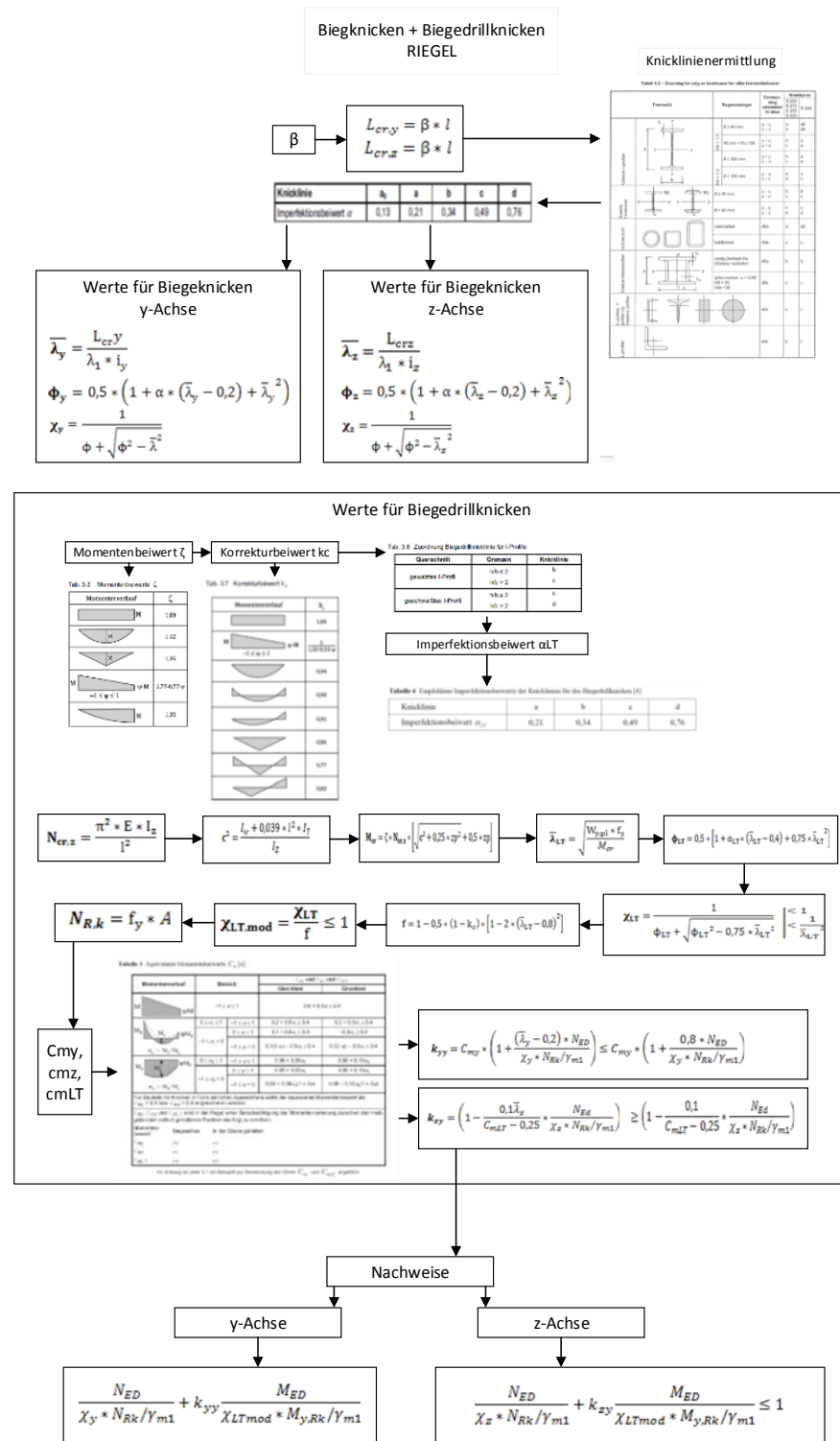


Abbildung 9.1 Biegekicken + Biegedrillknicken Riegel

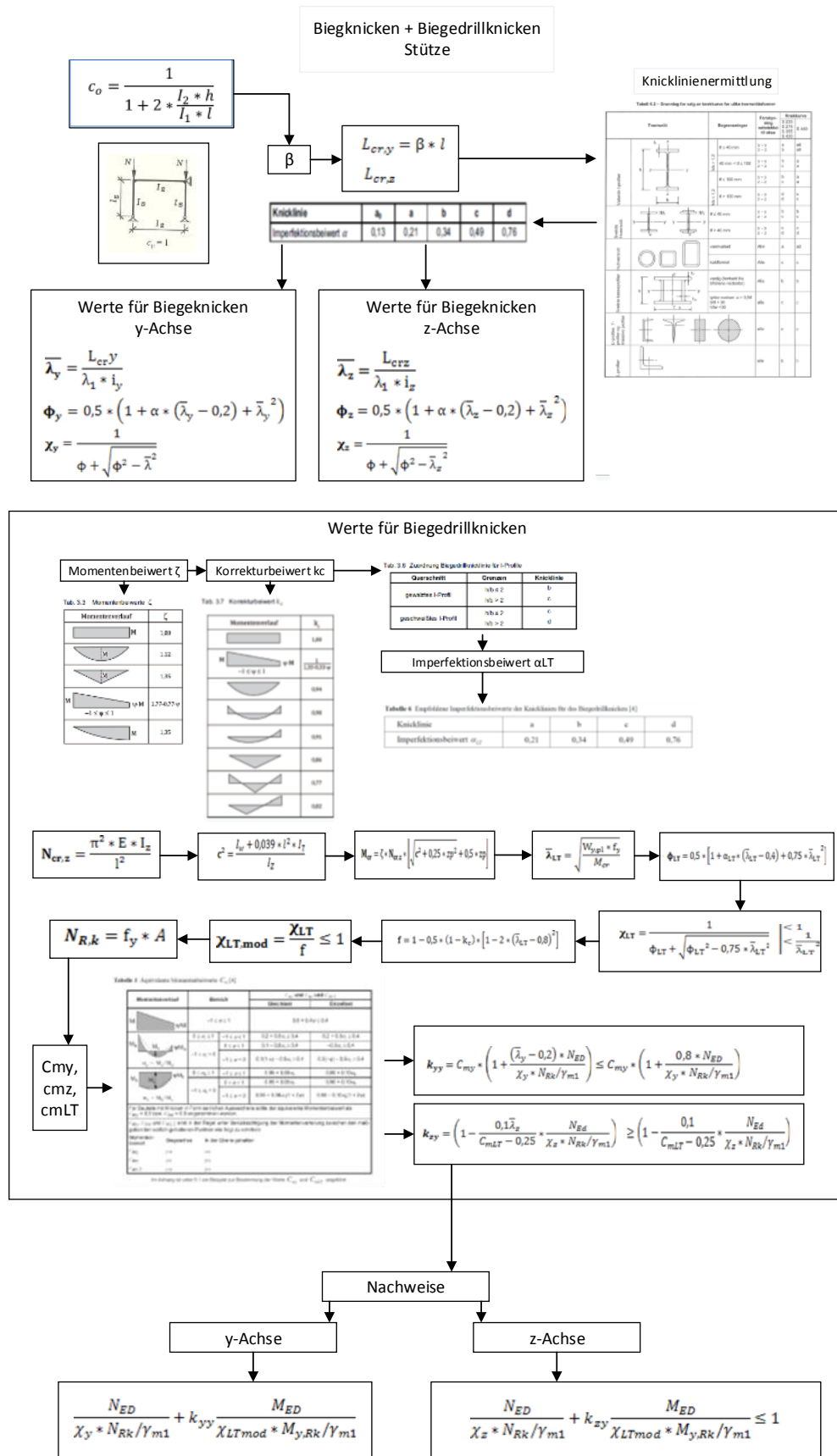


Abbildung 9.2 Biegekicken + Biegedrillknicken Stütze

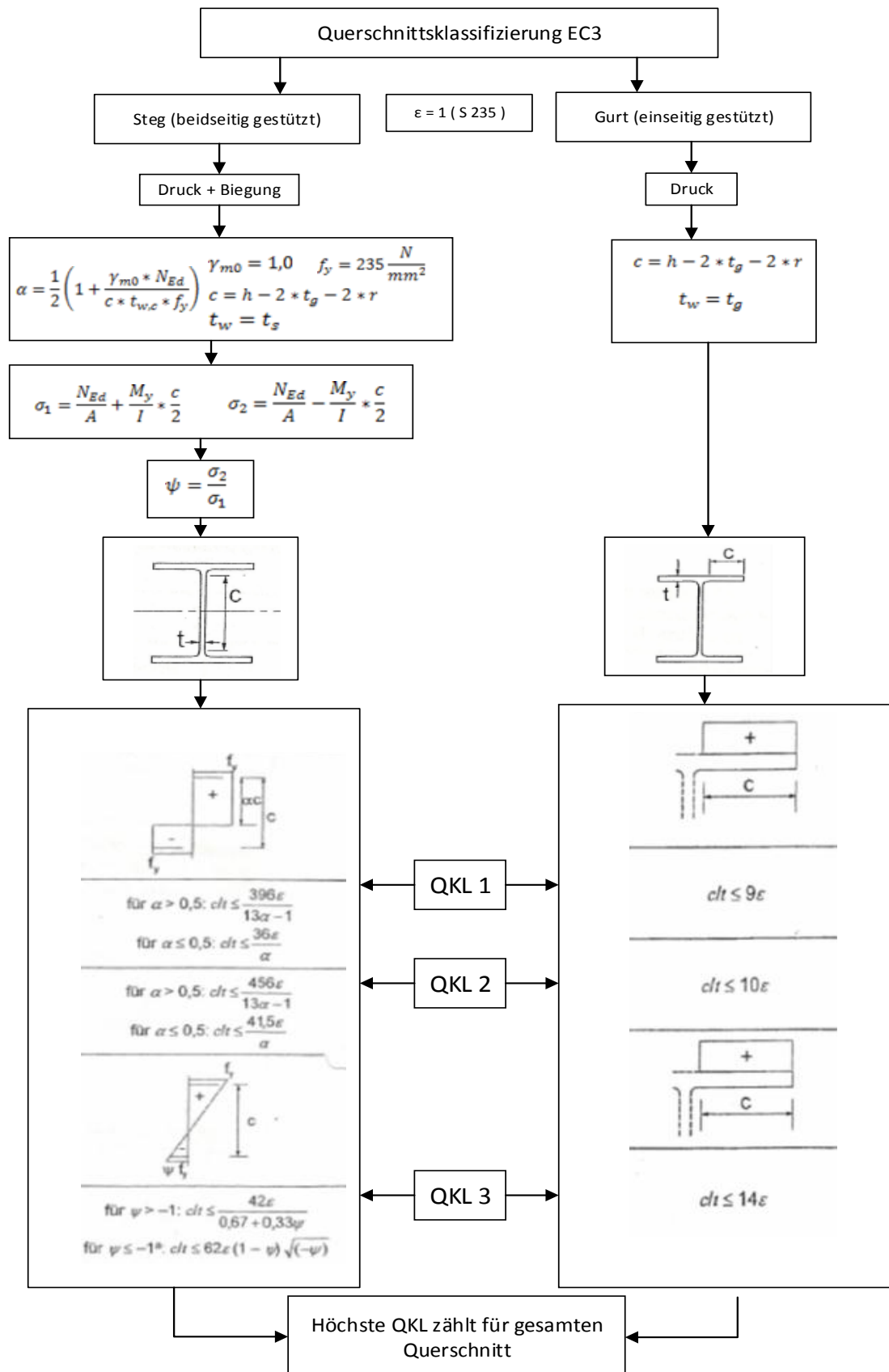
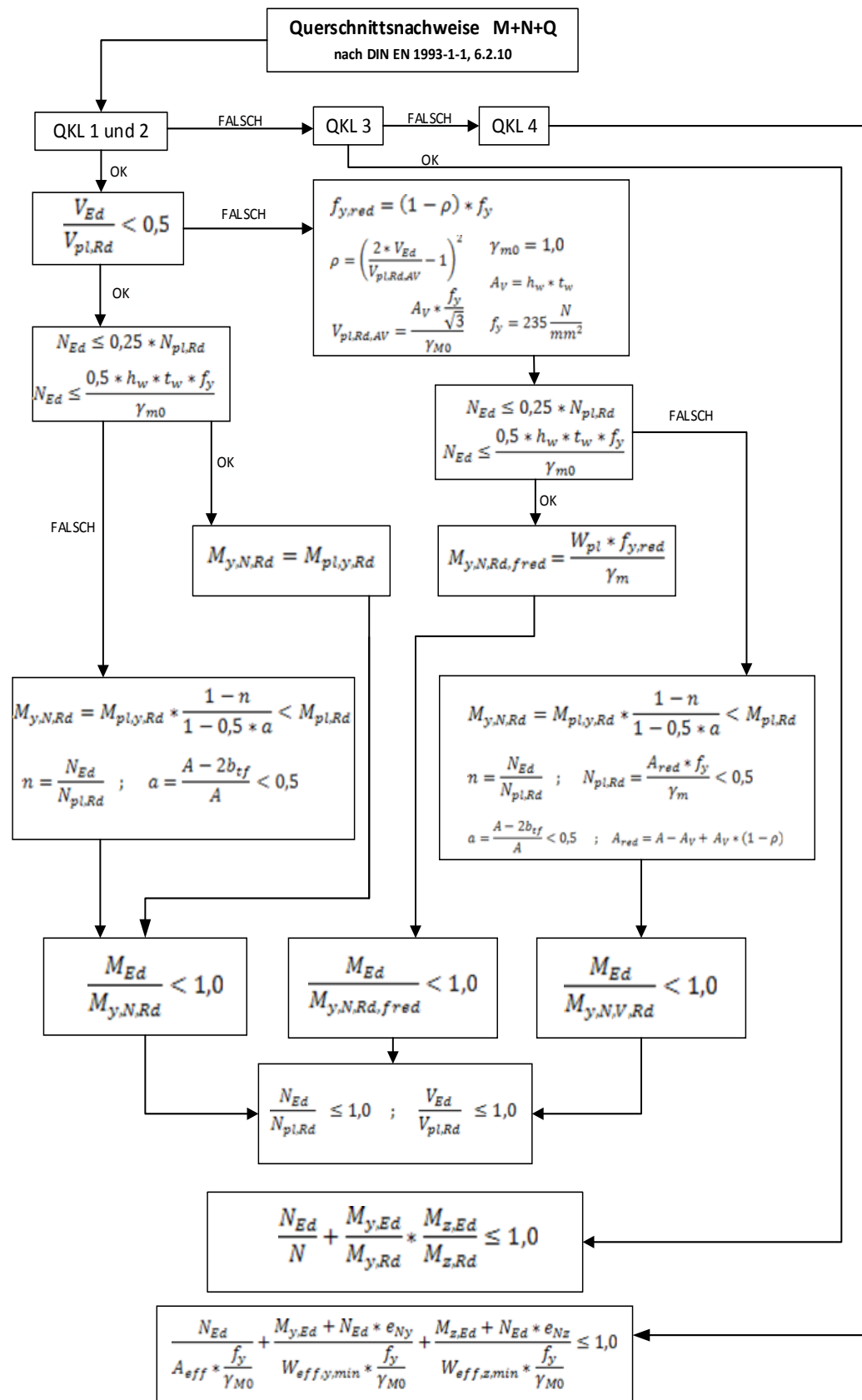


Abbildung 9.3 Querschnittsklassifizierung EC3



## 10. Anhang II Beispielrechnungen

### Berechnung Tragschale/Trapezblech

Trapezblech/Tragschale: Hoesch T150.1 tn = 0,88 mm, Positivlage

Statisches System: 3-Feldträger

Feldlänge : 6m

Zulässige Verformung : L/300

#### 1. Belastungen

Schneelast auf dem Dach:  $s_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

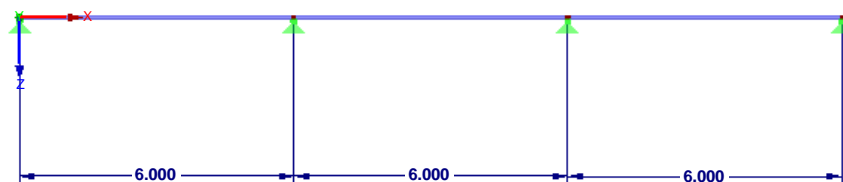
Eigenlast:  $g_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$

Installation:  $z_k = 0,1 \text{ kN/m}^2$

Wind Abwärtslast  $w_k = 0,1 \text{ kN/m}^2$

$\gamma_G = 1,35$  ,  $\gamma_Q = 1,5$  ,  $\gamma_{1,0} = 1,0$  ,  $\psi = 0,6$

#### 2. Statisches System

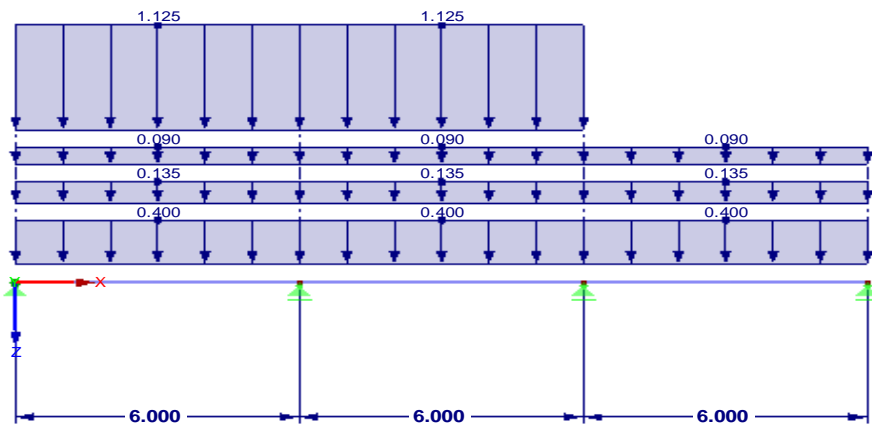


#### 3. Maßgebende Lastfallkombination

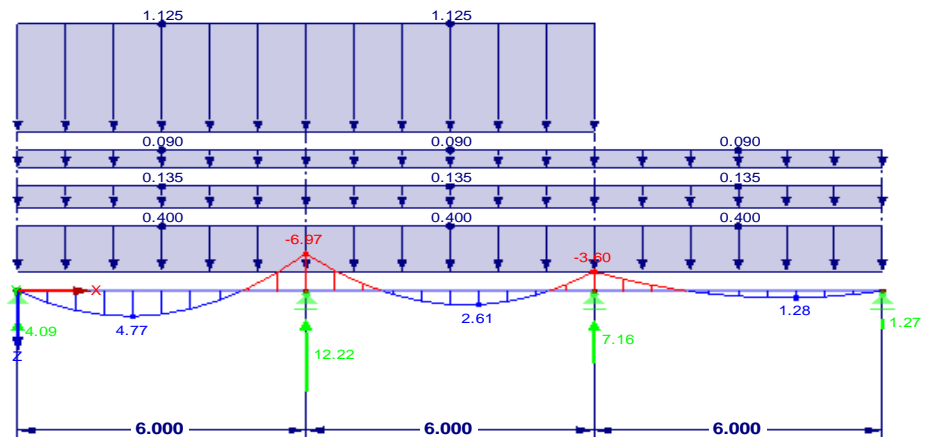
$$LFK\ 1 = \gamma_G * g_k + \gamma_G * z_k + \gamma_Q * s_k + \gamma_Q * \psi * w_k$$

$$LFK\ 1 = 1,35 * 0,3 + 1,35 * 0,1 + 1,5 * 0,75 + 1,5 * 0,6 * 0,1$$

3.1 Laststellung zur Ermittlung von  $M_{b,s,d}$  und  $R_{b,s,d}$ :



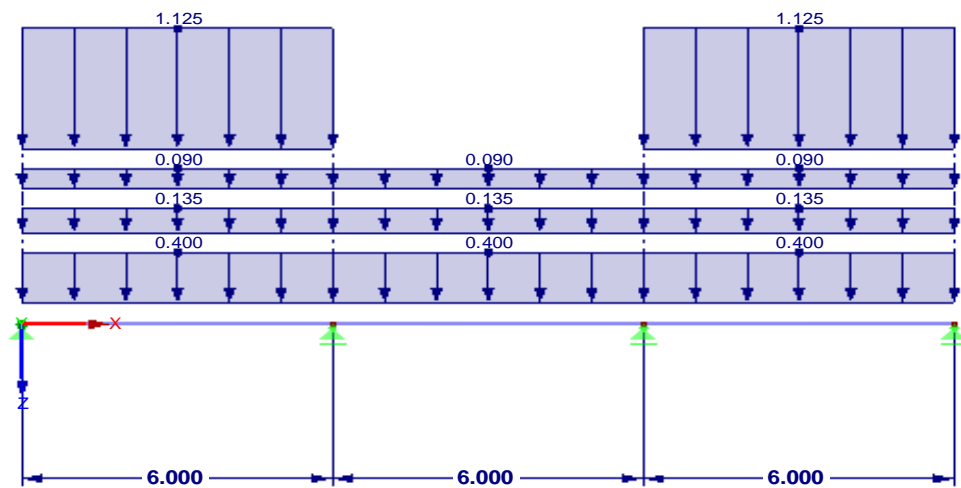
Schnittgrößen:



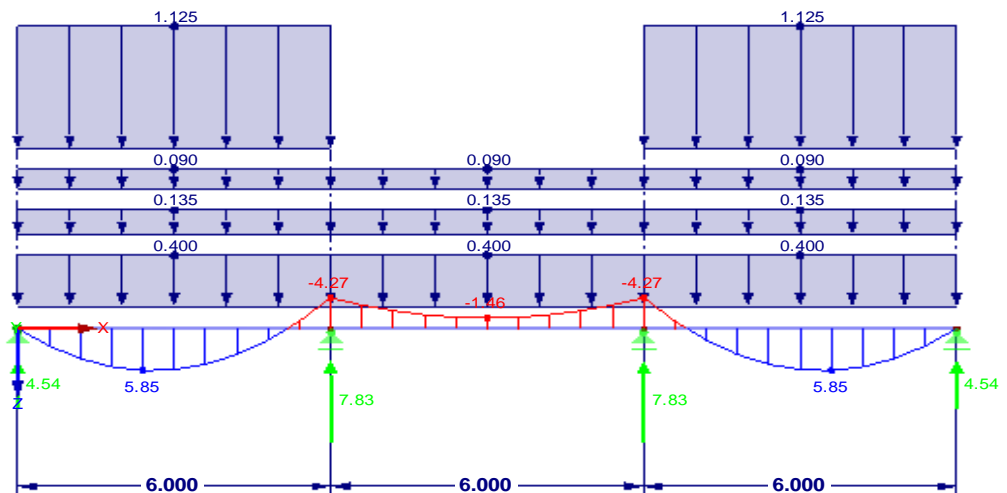
$$R_{b,s,d} = 12,22 \text{ kNm}$$

$$M_{b,s,d} = -6,97 \text{ kN}$$

3.2 Laststellung zur Ermittlung von  $M_{f,s,d}$  und  $R_{a,s,d}$  :



Schnittgrößen:



$$M_{f,s,d} = 5,85 \text{ kNm}$$

$$R_{a,s,d} = 4,54 \text{ kN}$$

**Bemessungswerte der Widerstandsgrößen**

$$M_{F,d} = \frac{M_{F,K}}{\gamma_m} = \frac{18}{1,1} = 16,36 \text{ KNm je m} \quad ; \quad M_{B,d} = \frac{M_{B,K}}{\gamma_m} = \frac{16,5}{1,1} = 15 \text{ KNm je m}$$

$$R_{A,d} = \frac{R_{A,K}}{\gamma_m} = \frac{17,8}{1,1} = 16,18 \text{ KN je m} \quad ; \quad R_{B,d} = \frac{R_{B,K}}{\gamma_m} = \frac{44,1}{1,1} = 40,36 \text{ KN je m}$$

**Einzelnachweise**

$$\frac{M_{F,s,d}}{M_{F,d}} = \frac{5,85}{16,36} = 0,36 < 1,0 \quad ; \quad \frac{M_{B,s,d}}{M_{B,d}} = \frac{6,97}{15} = 0,47 < 1,0$$

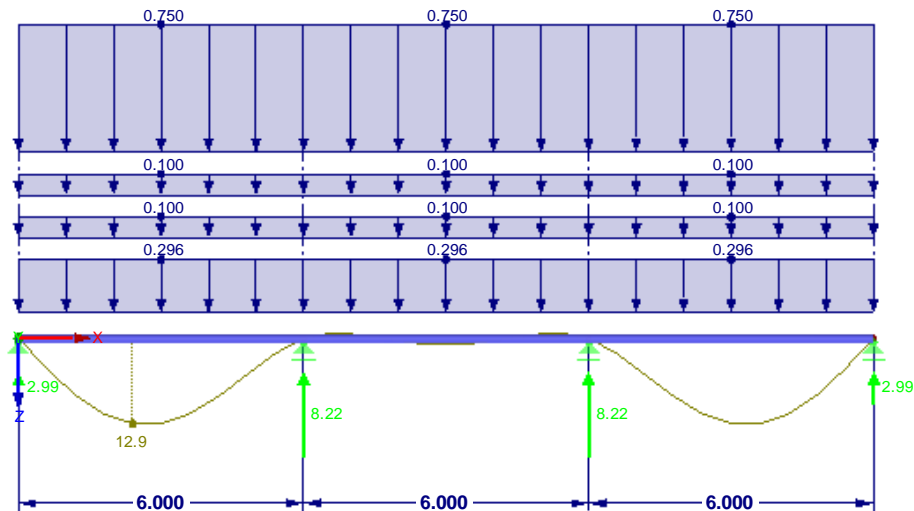
$$\frac{R_{A,s,d}}{R_{A,d}} = \frac{4,54}{16,18} = 0,28 < 1,0 \quad ; \quad \frac{R_{B,s,d}}{R_{B,d}} = \frac{12,22}{40,36} = 0,30 < 1,0$$

**Interaktionsnachweise**

$$\frac{M_{B,s,d}}{M_{B,d}} + \left( \frac{R_{B,s,d}}{R_{B,d}} \right)^2 = \frac{6,97}{15} + \left( \frac{12,22}{40,36} \right)^2 = 0,56 < 1,0$$

**Gebrauchstauglichkeitsnachweise**

Teilsicherheitsbeiwerte:  $\gamma_f = 1,0$



$$\text{zul. } f = \frac{l}{300} = \frac{6000 \text{ mm}}{300} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{vorh. } f = 12,9 \text{ mm}$$

$$\text{zul. } f > \text{vorh. } f$$



## Kombinierter Biegeknick- und Biegedrillknicknachweis für Stütze

Hallenrahmen:

Spannweite: 23 m

Traufhöhe: 5 m

Raster: 6 m

Schneelast auf dem Dach:  $s_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Eigenlast:  $g_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$

Installation:  $z_k = 0,1 \text{ kN/m}^2$

Wind Abwärtslast  $w_k = 0,1 \text{ kN/m}^2$

$$\gamma_G = 1,35 \quad , \quad \gamma_Q = 1,5 \quad , \quad \gamma_{1,0} = 1,0 \quad , \quad \psi = 0,6$$

Moment  $M = -375,57 \text{ kNm}$

Normalkraft  $N = 141,96 \text{ kN}$

Querkraft  $= 93,35 \text{ kN}$

Knicklänge z – Achse :  $L_{cr,z} = 5,0 \text{ m}$

Knicklänge y – Achse :  $L_{cr,y}$

$$L_b = 23 \text{ m} \quad L_s = 5 \text{ m} \quad I_b = 48199 \text{ cm}^4 \quad I_s = 48199 \text{ cm}^4$$

$$C_u = 1$$

$$C_o = \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{I_b \cdot l_s}{I_s \cdot l_b}} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{48199 \text{ cm}^4 \cdot 500 \text{ cm}}{48199 \text{ cm}^4 \cdot 2300 \text{ cm}}} = 0,33$$

$$\rightarrow \beta = 3,3$$

$$\rightarrow L_{cr,y} = \beta \cdot l = 3,3 \cdot 5 = 16,5 \text{ m}$$

Werte für BK um die y-Achse

$$\lambda_1 = 93,9 \text{ (S235)}; \quad i_y = 20,43 \text{ cm}; \quad A = 115,5 \text{ cm}^2$$

$$L_{cr,y} = 1650 \text{ cm}$$

$$h/b \rightarrow 500 \text{ mm} / 200 = 2,5 > 1,2 \quad , \quad t_f < 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Knicklinie a} \rightarrow \alpha = 0,21$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{\lambda_1 \cdot i_y} = \frac{1650 \text{ cm}}{93,9 \cdot 20,43 \text{ cm}} = \mathbf{0,860}$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,860 - 0,2) + 0,860^2) = \mathbf{0,939}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,939 + \sqrt{0,939^2 - 0,860^2}} = \mathbf{0,759 < 1}$$

#### Werte für BK um die **z**-Achse

$L_{cr,z} = 5 \text{ m}$  Knicklinie  $b \rightarrow \alpha = 0,34; i_z = 4,306 \text{ cm}$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{\lambda_1 \cdot i_z} = \frac{500 \text{ cm}}{93,9 \cdot 4,306 \text{ cm}} = \mathbf{1,2366}$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (1,2366 - 0,2) + 1,2366^2) = \mathbf{1,4408}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,4408 + \sqrt{1,4408^2 - 1,2366^2}} = \mathbf{0,4586 < 1}$$

#### Werte für BDK

$I_z = 2142 \text{ cm}^4$ ;  $I_T = 89,3 \text{ cm}^4$ ;  $I_w = 1249 \text{ cm}^6$ ;  $W_{y,pl} = 2194 \text{ cm}^3$ ;  $z_p = 0$ ;  $\alpha_{LT} = 0,49$   
(gewalztes Profil  $h/b > 2$ );  $A = 115,5 \text{ cm}^2$

$$\Psi = 0; \quad \zeta = 1,77 - 0,77 \cdot \Psi = 1,77 \quad k_c = 1/1,33 - 0,33 \cdot \Psi = 0,75$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \text{ KN/cm}^2 \cdot 2142 \text{ cm}^4}{(500 \text{ cm})^2} = \mathbf{1775,81 \text{ KN}}$$

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} = \frac{1249 \cdot 1000 \text{ cm}^6 + 0,039 \cdot (500 \text{ cm})^2 \cdot 89,3 \text{ cm}^4}{2142 \text{ cm}^4} = \mathbf{989,57 \text{ cm}^2}$$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot 1775,81 \text{ KN} \cdot \left[ \sqrt{989,57 \text{ cm}^2 + 0,25 \cdot (0)^2} + 0,5 \cdot 0 \right] = \mathbf{98876,48 \text{ KNcm}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2194 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{98876,58 \text{ KNcm}}} = \mathbf{0,722}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + 0,75 * \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$= 0,5 * [1 + 0,49 * (0,722 - 0,4) + 0,75 * 0,722^2] = \mathbf{0,774}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - 0,75 * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,774 + \sqrt{0,774^2 - 0,75 * 0,722^2}} = \mathbf{0,812} \left| \begin{array}{l} < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \\ < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{array} \right.$$

$$= 1,91$$

$$f = 1 - 0,5 * (1 - k_c) * [1 - 2 * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2]$$

$$= 1 - 0,5 * (1 - 0,75) * [1 - 2 * (0,722 - 0,8)^2] = \mathbf{0,876} \leq 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{0,812}{0,876} = \mathbf{0,926} \leq 1$$

$$N_{R,k} = f_y * A = 23,5 \frac{KN}{cm^2} * 115,5 cm^2 = \mathbf{2714,25 KN}$$

$$C_{my} = 0,6 * 0,4 * \psi \geq 0,4 = 0,6 = C_{mLT}$$

$$k_{yy} = C_{my} * \left( 1 + \frac{(\bar{\lambda}_y - 0,2) * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$= 0,6 * \left( 1 + \frac{(0,86 - 0,2) * 141,96 KN}{0,759 * 2714,25 / 1,1} \right) = \mathbf{0,63} \leq C_{my} * \left( 1 + \frac{0,8 * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$= 0,6 * \left( 1 + \frac{0,8 * 141,96 KN}{0,759 * 2714,25 / 1,1} \right) = \mathbf{0,636}$$

→ **k<sub>yy</sub> = 0,63 maßgebend**

Nachweis **y**-Achse

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{m1}} + k_{yy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LT,mod} * M_{y,Rk} / \gamma_{m1}}$$

$$= \frac{141,96 KN}{0,759 * 2714,25 / 1,1} + 0,63 * \frac{375,57 KNm}{0,926 * \frac{515,6}{1,1}}$$

$$= \mathbf{0,62} \leq 1$$

$$\left( \frac{C_{mLT} - 0,25}{\chi_z * N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right) \left( \frac{0,6 - 0,25}{0,4586 * 2714,25 / 1,1} \right)$$

$$\begin{aligned} &= \mathbf{0,955} \geq \left(1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}}\right) \\ &= \left(1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{141,96 \text{ KN}}{0,4586 * 2714,25/1,1}\right) \end{aligned}$$

$$= \mathbf{0,964}$$

→  $k_{zy} = \mathbf{0,964}$  maßgebend

Nachweis **Z**-Achse

$$\begin{aligned} &\frac{N_{ED}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} + k_{zy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LTmod} * M_{y,Rk}/\gamma_{m1}} \\ &= \frac{141,96 \text{ KN}}{0,4586 * 2714,25/1,1} + 0,964 * \frac{375,57 \text{ KNm}}{0,926 * \frac{515,6}{1,1}} \\ &= \mathbf{0,96 \leq 1} \end{aligned}$$

**Kombinierter Biegeknick- und Biegedrillknicknachweis für Riegel**

Hallenrahmen:

Spannweite: 23 m

Traufhöhe: 5 m

Raster: 6 m

Druckrohre: 3 pro Dachseite

Schneelast auf dem Dach:  $s_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ Eigenlast:  $g_k = 0,3 \text{ kN/m}^2$ Installation:  $z_k = 0,1 \text{ kN/m}^2$ Wind Abwärtslast  $w_k = 0,1 \text{ kN/m}^2$  $\gamma_G = 1,35$  ,  $\gamma_Q = 1,5$  ,  $\gamma_{1,0} = 1,0$  ,  $\psi = 0,6$ Moment  $M = -285,96 \text{ kNm}$ Normalkraft  $N = 88,37 \text{ kN}$ Knicklänge z – Achse:  $L_{cr,z} = 3,83 \text{ m}$ Knicklänge y – Achse:  $L_{cr,y} = 3,83 \text{ m}$  $\rightarrow \beta = 1,0$  $\rightarrow L_{cr,y} = \beta \cdot l = 1 \cdot 3,83 = 3,83 \text{ m}$  $\rightarrow L_{cr,z} = \beta \cdot l = 1 \cdot 3,83 = 3,83 \text{ m}$ **Werte für BK um die y-Achse** $\lambda_1 = 93,9 \text{ (S235)}$ ;  $i_y = 20,43 \text{ cm}$ ;  $A = 115,5 \text{ cm}^2$  $L_{cr,y} = 383 \text{ cm}$  $h/b \rightarrow 500 \text{ mm} / 200 = 2,5 > 1,2$  ,  $t_f < 100 \text{ mm} \rightarrow$  Knicklinie a  $\rightarrow \alpha = 0,21$ 

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr,y}}{\lambda_1 \cdot i_y} = \frac{383 \text{ cm}}{93,9 \cdot 20,43 \text{ cm}} = \mathbf{0,199}$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot \left( 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,199 - 0,2) + 0,199^2) = \mathbf{0,52}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,52 + \sqrt{0,52^2 - 0,199^2}} = \mathbf{0,99 < 1}$$

Werte für BK um die z-Achse

$L_{cr,z} = 3,82 \text{ m}$  Knicklinie b  $\rightarrow \alpha = 0,34$ ;  $i_z = 4,306 \text{ cm}$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{\lambda_1 \cdot i_z} = \frac{383 \text{ cm}}{93,9 \cdot 4,306 \text{ cm}} = \mathbf{0,947}$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2\right) = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (0,947 - 0,2) + 0,947^2) = \mathbf{1,075}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,075 + \sqrt{1,075^2 - 0,947^2}} = \mathbf{0,63 < 1}$$

Werte für BDK

$I_z = 2142 \text{ cm}^4$ ;  $I_T = 89,3 \text{ cm}^4$ ;  $I_w = 1249 \text{ cm}^6$ ;  $W_{y,pl} = 2194 \text{ cm}^3$ ;  $z_p = 0$ ;  $\alpha_{LT} = 0,49$   
(gewalztes Profil  $h/b > 2$ );  $A = 115,5 \text{ cm}^2$

$\Psi = 0,84$ ;  $\zeta = 1,77 - 0,77 \cdot 0,84 = 1,12$  da Firstmoment-16 %

$k_c = 1/1,33 - 0,33 \cdot \Psi = 0,949$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \text{ KN/cm}^2 \cdot 2142 \text{ cm}^4}{(383 \text{ cm})^2} = \mathbf{3026,5 \text{ KN}}$$

$$c^2 = \frac{I_w + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} = \frac{1249 \cdot 1000 \text{ cm}^6 + 0,039 \cdot (383 \text{ cm})^2 \cdot 89,3 \text{ cm}^4}{2142 \text{ cm}^4} = \mathbf{821,6 \text{ cm}^2}$$

$$M_{cr} = 1,12 \cdot 3026,5 \text{ KN} \cdot \left[ \sqrt{821,6 \text{ cm}^2 + 0,25 \cdot (-25)^2} + 0,5 \cdot -25 \right] = \mathbf{63626,3 \text{ KNcm}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2194 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{63626,3 \text{ KNcm}}} = \mathbf{0,90}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + 0,75 \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2\right] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,90 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,90^2] = \mathbf{0,926}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - 0,75 * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,926 + \sqrt{0,926^2 - 0,75 * 0,9^2}} = \mathbf{0,701} \left| \begin{array}{l} < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}} \\ < \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{array} \right.$$

$$= 1,23$$

$$f = 1 - 0,5 * (1 - k_c) * [1 - 2 * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2]$$

$$= 1 - 0,5 * (1 - 0,949) * [1 - 2 * (0,9 - 0,8)^2] = \mathbf{0,975} \leq 1$$

$$\chi_{LT,mod} = \frac{0,701}{0,975} = \mathbf{0,718} \leq 1$$

$$N_{R,k} = f_y * A = 23,5 \frac{KN}{cm^2} * 115,5 cm^2 = \mathbf{2714,25 KN}$$

$$C_{my} = 0,6 * 0,4 * \psi \geq 0,4 = 0,936 = C_{mLT}$$

$$k_{yy} = C_{my} * \left( 1 + \frac{(\bar{\lambda}_y - 0,2) * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$= 0,936 * \left( 1 + \frac{(0,199 - 0,2) * 88,37 KN}{0,99 * 2714,25 / 1,1} \right) = \mathbf{0,935} \leq C_{my} * \left( 1 + \frac{0,8 * N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{m1}} \right)$$

$$= 0,936 * \left( 1 + \frac{0,8 * 88,37 KN}{0,99 * 2714,25 / 1,1} \right) = \mathbf{0,963}$$

→  $k_{yy} = 0,935$  maßgebend

Nachweis **y**-Achse

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{m1}} + k_{yy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LTmod} * M_{y,Rk} / \gamma_{m1}}$$

$$= \frac{88,37 KN}{0,99 * 2714,25 / 1,1} + 0,935 * \frac{285,96 KNm}{0,718 * \frac{515,6}{1,1}}$$

$$= \mathbf{0,83} \leq 1$$

$$\begin{aligned}
 k_{zy} &= \left( 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right) = \left( 1 - \frac{0,1 * 0,947}{0,936 - 0,25} * \frac{88,37 \text{ KN}}{0,63 * 2714,25/1,1} \right) \\
 &= \mathbf{0,9921} \geq \left( 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}/\gamma_{m1}} \right) \\
 &= \left( 1 - \frac{0,1}{0,936 - 0,25} * \frac{88,37 \text{ KN}}{0,63 * 2714,25/1,1} \right) \\
 &= \mathbf{0,9914}
 \end{aligned}$$

→ **k<sub>zy</sub> = 0,9921 maßgebend**

Nachweis **Z**-Achse

$$\begin{aligned}
 &\frac{N_{ED}}{\chi_z * \frac{N_{Rk}}{\gamma_{m1}}} + k_{zy} \frac{M_{ED}}{\chi_{LTmod} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{m1}}} \leq 1 \\
 &= \frac{88,37 \text{ KN}}{0,63 * 2714,25/1,1} + 0,9921 * \frac{285,96 \text{ KNm}}{0,718 * \frac{515,6}{1,1}} \\
 &= \mathbf{0,899 \leq 1}
 \end{aligned}$$



**Nachweisführung Sandwichelement****1. Profil**

KINGSPAN KS1000RW 120 0,5/0,4 Farbgruppe III

Oben: profiliert

Unten: gesickt (quasi eben)

**2. statisches System**

Einfeldträger 5,0 m

**3. Beanspruchung**Eigenlast  $G_k$ : 0,128 kN/m<sup>2</sup>Schnee  $s_k$ : 0,75 kN/m<sup>2</sup>Windsog  $w_k$ : 0,4 kN/m<sup>2</sup>

	$\theta_i$	$\theta_a$	$\Delta T$
Winter mit Schnee	20°C	0°C	20°C
Winter ohne Schnee	20°C	-20°C	40°C
Sommer (Tragsicherheit)	25°C	80°C	55°C
Sommer (Gebrauchstauglichkeit)	25°C	55°C	30°C

**4. Querschnittswerte**

D = 155,4 mm

e = 126,3 mm

b = 1000 mm

oberes Blech:

 $t_{nom} = 0,5$      $t_{zinc} = 0,04$      $t_{tol} = 0,05$  $t_1 = t_{nom} - t_{zinc} - 0,5 \cdot t_{tol}$  $t_1 = 0,5 \text{ mm} - 0,04 \text{ mm} - 0,5 \cdot 0,05 \text{ mm} = 0,435 \text{ mm}$  $d_{11} = 27,943 \text{ mm}$      $d_{12} = 7,457 \text{ mm}$  $A_1 = 4,977 \text{ cm}^2/\text{m}$  $I_1 = 6,91 \text{ cm}^4/\text{m}$

$$E_1 = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{F1} = 1,2 \cdot 10^{-5}$$

unteres Blech:

$$t_{\text{nom}} = 0,4 \quad t_{\text{zinc}} = 0,04 \quad t_{\text{tol}} = 0,05$$

$$t_2 = t_{\text{nom}} - t_{\text{zinc}} - 0,5 \cdot t_{\text{tol}}$$

$$t_1 = 0,4 \text{ mm} - 0,04 \text{ mm} - 0,5 \cdot 0,05 \text{ mm} = 0,355 \text{ mm}$$

$$d_{21} = 0,7 \text{ mm} \quad d_{22} = 0,7 \text{ mm}$$

$$A_2 = 3,406 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$I_2 = 0 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$E_2 = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{F2} = 1,2 \cdot 10^{-5}$$

### 5. Widerstandsgrößen

$$G_c = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{FT1} = 280 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_k = 227,67 \text{ N/mm}^2 \text{ Knitterspannung außen}$$

$$\sigma_u = 149,00 \text{ N/mm}^2 \text{ Knitterspannung innen}$$

$$\sigma_u = 89,4 \text{ N/mm}^2 \text{ Knitterspannung Zwischenaufleger}$$

$$f_{CV} = 0,097 \text{ N/mm}^2 \text{ Schubfestigkeit Kernschicht}$$

$$f_{CV} = 0,057 \text{ N/mm}^2 \text{ Schubfestigkeit Kernschicht (Langzeit)}$$

$$\eta_T = 1,37 \text{ Materialsicherheitsfaktor Schubfestigkeit}$$

$$f_{CC} = 0,1 \text{ N/mm}^2 \text{ Druckfestigkeit}$$

$$\eta_d = 1,2 \text{ Materialsicherheitsfaktor Druck, Zug}$$

### 6. Vorwerte für gleichförmige Last

$$B_S = \frac{E_{F1} \cdot A_{F1} \cdot E_{F2} \cdot A_{F2} \cdot e^2}{E_{F1} \cdot A_{F1} + E_{F2} \cdot A_{F2}} = \frac{21000 \cdot 4,977 \cdot 21000 \cdot 3,406 \cdot 12,63^2}{21000 \cdot 4,977 + 21000 \cdot 3,406} \\ = 6773900,51 \text{ cm}^2$$

$$\kappa = \frac{3 \cdot B_S}{L^2 \cdot G_c \cdot A_c} = \frac{3 \cdot 6773900,51 \text{ cm}^2}{500 \text{ cm}^2 \cdot 0,28 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 12,63 \text{ cm} \cdot 100} = 0,229$$

$$B_{F1} = E_{F1} \cdot I_{F1} = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 6,9 \frac{\text{cm}^4}{\text{m}} = 145110 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\beta_{\text{gleichförmig}} = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + \frac{B_S}{1 + 3,2 * \kappa}} = \frac{145110}{145110 + \frac{6773900}{1 + 3,2 * 0,229}} = 0,035791$$

$$\beta_{\text{Temperatur}} = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + \frac{B_S}{1 + 3,2 * \kappa}} = \frac{145110}{145110 + \frac{6773900}{1 + 2,67 * 0,229}} = 0,033368$$

$$\begin{aligned} \theta_{1,\text{SOMMER}} &= \frac{\alpha_2 - T_{2i} - \alpha_1 - T_1}{e} = \frac{0,000023 + 25 - 0,000023 * 80}{\frac{12,63}{10}} \\ &= -1,001 * 10^{-3} \frac{1}{\text{cm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{2,\text{WINTER}} &= \frac{\alpha_2 - T_{2i} - \alpha_2 - T_{2a}}{e} = \frac{0,000023 + 20 - 0,000023 * (-20)}{\frac{12,63}{10}} \\ &= 7,28 * 10^{-4} \frac{1}{\text{cm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{3,\text{WINTER+Schnee}} &= \frac{\alpha_3 - T_{3i} - \alpha_3 - T_{3a}}{e} = \frac{0,000023 + 20 - 0,000023 * 0}{\frac{12,63}{10}} \\ &= 3,642 * 10^{-4} \frac{1}{\text{cm}} \end{aligned}$$

## 6. Vorwerte für Kriechen

$$G_{c,EG} = \frac{G_c}{1 + \phi_t} = \frac{2,8}{1 + 7} = 0,35 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \phi_t = 7 \text{ für ständige Lasten}$$

$$G_{c,\text{Schnee}} = \frac{G_c}{1 + \phi_t} = \frac{2,8}{1 + 2,4} = 0,823 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \phi_t = 2,4 \text{ für veränderliche Lasten}$$

$$\kappa_{EG,\text{Kriechen}} = \frac{3 * B_S}{L^2 * G_c * A_c} = \frac{3 * 6773900,51 \text{ cm}^2}{500 \text{ cm}^2 * 0,35 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 12,63 \text{ cm} * 100} = 1,84$$

$$\kappa_{\text{Schnee},\text{Kriechen}} = \frac{3 * B_S}{L^2 * G_c * A_c} = \frac{3 * 6773900,51 \text{ cm}^2}{500 \text{ cm}^2 * 0,823 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 12,63 \text{ cm} * 100} = 0,782$$

$$\beta_{\text{gleichförmig},EG} = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + \frac{B_S}{1 + 3,2 * \kappa}} = \frac{145110}{145110 + \frac{6773900}{1 + 3,2 * 1,84}} = 0,128$$

$$\beta_{\text{gleichförmig},\text{Schnee}} = \frac{B_{F1}}{B_{F1} + \frac{B_S}{1 + 3,2 * \kappa}} = \frac{145110}{145110 + \frac{6773900}{1 + 3,2 * 0,782}} = 0,069$$

8. Schnittgrößen

$$M_{SF} = \frac{q * l^2}{8} * (1 - \beta) \quad M_{DF,1} = \frac{q * l^2}{8} * \beta$$

$$\omega = \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta)$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e}$$

Schnittgrößen für Eigengewicht  $E_G$ :

$$M_{SF} = \frac{0,128 * 5^2}{8} * (1 - 0,035791) = 0,385 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{0,128 * 5^2}{8} * (0,035791) = 0,014 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{0,128 * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 0,229) * (1 - 0,035791) \\ &= 0,285 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{-0,386 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{0,014 * 100}{6,91} * 2,794 = -11,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{-0,386 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{0,014 * 100}{6,91} * 0,7457 = -4,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{0,385 * 100}{12,63 * 3,406} = 8,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = \frac{1,88 * 1000}{12,63 * 10000} = 0,003 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Schnittgrößen für Schnee  $S$ :

$$M_{SF} = \frac{0,75 * 5^2}{8} * (1 - 0,035791) = 2,26 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{0,75 * 5^2}{8} * (0,035791) = 0,08 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{0,75 * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 0,229) * (1 - 0,035791) = 1,51 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{-2,26 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{0,08 * 100}{6,91} * 2,794 = -69,91 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{-0,386 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{0,014 * 100}{6,91} * 0,7457 = -26,88 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{2,26 * 100}{12,63 * 3,406} = 52,53 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = \frac{1,88 * 1000}{12,63 * 10000} = 0,015 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für Windsog  $w_s$ :

$$M_{SF} = \frac{-0,4 * 5^2}{8} * (1 - 0,035791) = -1,21 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{-0,4 * 5^2}{8} * (0,035791) = -0,04 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{-0,4 * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 0,229) * (1 - 0,035791) \\ &= -0,804 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{1,21 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{-0,04 * 100}{6,91} * 2,794 = 37,28 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{1,21 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{0,04 * 100}{6,91} * 0,7457 = 14,34 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{-1,21 * 100}{12,63 * 3,406} = -28,02 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = \frac{1,88 * 1000}{12,63 * 10000} = -0,008 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für  $\theta_{1,SOMMER}$  ts:

$$M_{SF} = \frac{-1,001 * 10^{-3} \frac{1}{cm} * 5^2}{8} * (1 - 0,035791) = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{-1,001 * 10^{-3} \frac{1}{cm} * 5^2}{8} * (0,035791) = -0,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{-1,001 * 10^{-3} \frac{1}{cm} * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 0,229) * (1 - 0,035791) \\ &= -3,025 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{0,14 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{-0,14 * 100}{6,91} * 2,794 = 54,55 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{0,14 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{-0,14 * 100}{6,91} * 0,7457 = -17,4 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{0,14 * 100}{12,63 * 3,406} = 3,27 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für  $\theta_{2,WINTER}$  tw:

$$M_{SF} = \frac{7,28 * 10^{-4} \frac{1}{cm} * 5^2}{8} * (1 - 0,035791) = -0,10 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{7,28 * 10^{-4} \frac{1}{cm} * 5^2}{8} * (0,035791) = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{7,28 * 10^{-4} \frac{1}{cm} * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 0,229) * (1 - 0,035791) \\ &= 2,2 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{0,10 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{0,10 * 100}{6,91} * 2,794 = -39,67 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{0,10 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{0,10 * 100}{6,91} * 0,7457 = 12,65 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{-0,10 * 100}{12,63 * 3,406} = -2,38 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für  $\theta_{3,WINTER+Schnee}$  tws:

$$M_{SF} = \frac{3,642 * 10^{-4} \frac{1}{cm} * 5^2}{8} * (1 - 0,035791) = -0,05 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{3,642 * 10^{-4} \frac{1}{cm} * 5^2}{8} * (0,035791) = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{3,642 * 10^{-4} \frac{1}{cm} * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 0,229) * (1 - 0,035791) \\ &= 1,1 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{0,05 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{0,05 * 100}{6,91} * 2,794 = -19,84 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{0,05 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{0,05 * 100}{6,91} * 0,7457 = 6,33 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{-0,05 * 100}{12,63 * 3,406} = -1,19 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für *Kriechen Eigengewicht* :

$$M_{SF} = \frac{0,128 * 5^2}{8} * (1 - 0,128) = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{0,128 * 5^2}{8} * (0,128) = 0,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{0,128 * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 1,84) * (1 - 0,128) = 0,923 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{-0,35 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{0,05 * 100}{6,91} * 2,794 = -26,35 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{-0,35 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{0,05 * 100}{6,91} * 0,7457 = 0 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{0,35 * 100}{12,63 * 3,406} = 811 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für *Kriechen Schnee* :

$$M_{SF} = \frac{0,75 * 5^2}{8} * (1 - 0,069) = 2,18 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = \frac{0,75 * 5^2}{8} * (0,069) = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{B_S} * (1 + 3,2 * \kappa) * (1 - \beta) \\ &= \frac{5}{384} * \frac{0,75 * 500^4}{6773900 * 100} * (1 + 3,2 * 0,78) * (1 - 0,069) = 2,93 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\delta_{1,o,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} - \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{11} = \frac{-2,18 * 100}{12,63 * 4,977} - \frac{0,16 * 100}{6,91} * 2,794 = -100,77 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = \frac{-M_{SF}}{A_1 * e} + \frac{M_{DF,1}}{I_{F1}} * d_{12} = \frac{-2,18 * 100}{12,63 * 4,977} + \frac{0,16 * 100}{6,91} * 0,7457 = -17,04 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = \frac{M_{SF}}{A_{F2} * e} = \frac{2,18 * 100}{12,63 * 3,406} = 50,68 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau = \frac{v}{B * e} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für  $\Delta$ Kriechen, EG – Eigenlast  $\Delta e$ :

$$M_{SF} = -0,037 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = 0,037 \text{ N/mm}^2$$

$$\omega = 6,66 \text{ cm}$$

$$\delta_{1,o,f} = -14,4 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = 4,594 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{2,o,f} = -0,89 \frac{N}{mm^2}$$



$$\tau = \frac{v}{B * e} = 0 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen für  $\Delta Kriechen, Schnee - Schnee$   $\Delta s$ :

$$M_{SF} = -0,079 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{DF,1} = 0,079 \text{ N/mm}^2$$

$$\omega = 14,266 \text{ cm}$$

$$\delta_{1,o,f} = -30,87 \frac{N}{mm^2}$$

$$\delta_{1,u,f} = 9,843 \frac{N}{mm^2} \quad \delta_{2,o,f} = -1,848 \frac{N}{mm^2}$$

Schnittgrößen Zusammengefasst:

Schnittgrößen	max	maxMDF	Re E	s1,o,F	s1,u,F	s2,o,F	tC	wmax
Einheiten	kN	kN/m	kN/m	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	mm
Eigenlast	0,38	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386
Schnee	2,26	0,084	1,875	-69,91	-26,88	52,53	0,015	15,08
Windsog	-	-0,045	-1	37,28	14,34	-28,02	-0,008	-8,04
Temp.Sommer	0,14	-0,14	0	54,55	-17,4	3,27	0	-30,25
Temp. Winter	-	0,102	0	-39,67	12,65	-2,38	0	22
Temp. Winter mit Schnee	-	0,051	0	-19,84	6,33	-1,19	0	11
Kriechen Eigenlast	0,34	0,051	0	-26,345	0,002	8,11	0	9,233
Kriechen Schnee	2,18	0,164	0	-100,773	-17,039	50,682	0	29,343
$\Delta$ kri.Eig.	-	0,037	0	-14,405	4,594	-0,862	0	6,658
$\Delta$ kri.Schn.	-	0,079	0	-30,866	9,843	-1,848	0	14,266

9. Nachweis der Deckschicht im Wellenberg

Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_{G,1}$	1
$\gamma_G$	1,35
$\gamma_Q$	1,5
$\psi_0$	0,6
$\psi_1$	1,0

$$S_d = \gamma_G * G_k + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} * \psi_{0i} * Q_{ki} \leq \frac{R_k}{\gamma_M} = R_d$$

Druck

LFK 1	$E_G^* \gamma_G + S^* \gamma_Q$	-120,98 N/mm <sup>2</sup>
LFK 2	$E_G^* \gamma_G + tw^* \gamma_Q$	-75,63 N/mm <sup>2</sup>
LFK 3	$E_G^* \gamma_G + S^* \gamma_Q + tws^* \gamma_Q^* \psi_0$	-138,83 N/mm <sup>2</sup>
LFK 4	$E_G^* \gamma_G + tws^* \gamma_Q^* \psi_0 + S^* \gamma_Q$	-108,79 N/mm <sup>2</sup>
LFK 5	$E_G^* \gamma_G + S^* \gamma_Q + tws^* \gamma_Q + \psi_1 * (\Delta e + \Delta s)$	-196,01 N/mm <sup>2</sup>
LFK 6	$E_G^* \gamma_G + tws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q + \psi_1 * (\Delta e + \Delta s)$	-154,06 N/mm <sup>2</sup>

## Maßgebende Lastfallkombination

LFK 5	-196,01 N/mm <sup>2</sup> = S <sub>d</sub>
-------	--

Nachweis:

$$R_{d,Druck} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\sigma_{K,F}}{\eta_d} = \frac{320 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 266 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,Druck}} < 1,0 = \frac{196,01}{266} = \mathbf{0,73} < \mathbf{1,0}$$

Zug

LFK 1	$E_G^* \gamma_{G,1} + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q$	125,81 N/mm <sup>2</sup> = S <sub>d</sub>
-------	--	---

## Maßgebende Lastfallkombination

LFK 1	-125,81 N/mm <sup>2</sup>
-------	---------------------------

Nachweis:

$$R_{d,Zug} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\delta}{\eta_d} = \frac{350 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 291 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,Zug}} < 1,0 = \frac{125,81}{291} = \mathbf{0,43} < \mathbf{1,0}$$

10. Nachweis der oberen Deckschicht im Wellental (Winter)

LK		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	$E_G^* \gamma_{G,1} + tw^* \gamma_Q$	14,39	$E_G^* \gamma_G + tw^* \gamma_Q$	12,78
2	$E_G^* \gamma_{G,1} + S^* \gamma_Q + tws^* \gamma_Q$	-35,43	$E_G^* \gamma_G + S^* \gamma_Q + tws^* \gamma_Q$	-37,03
3	$E_G^* \gamma_{G,1} tws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q * \psi_0$	-19,30	$E_G^* \gamma_G tws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q * \psi_0$	-20,90
4	$E_G^* \gamma_{G,1} + S^* \gamma_Q + tws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	-20,99	$E_G^* \gamma_G + S^* \gamma_Q + tws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	-22,60
5	$E_G^* \gamma_{G,1} + tws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	-4,86	$E_G^* \gamma_G + tws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	-6,47
6	$E_G^* \gamma_{G,1} + ws^* \gamma_G + tw^* \gamma_G + \gamma_G * \Delta e$	40,48	$E_G^* \gamma_G + ws^* \gamma_G + tw^* \gamma_G + \gamma_G * \Delta e$	38,88
7	$E_G^* \gamma_{G,1} + tw^* \gamma_G + ws^* \gamma_G + \gamma_G * \Delta e$	31,88	$E_G^* \gamma_G + tw^* \gamma_G + ws^* \gamma_G + \gamma_G * \Delta e$	30,28
8	$E_G^* \gamma_{G,1} + S^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q * \psi_0 + tws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	-8,09	$E_G^* \gamma_G + S^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q * \psi_0 + tws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	-9,69
9	$E_G^* \gamma_{G,1} + ws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q * \psi_0 + tws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	16,65	$E_G^* \gamma_G + ws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q * \psi_0 + tws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	15,04
11	$E_G^* \gamma_{G,1} + tws^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	8,04	$E_G^* \gamma_G + tws^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	6,44
12	$E_G^* \gamma_{G,1} + tws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	8,04	$E_G^* \gamma_G + tws^* \gamma_Q + S^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * (\Delta e + \Delta s)$	6,44

Druck, Zug

Maßgebende Lastfallkombination für Druck

LFK 2	$-37,03 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	-------------------------------

Nachweis:

$$R_{d,Druck} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\sigma_{K,F}}{\eta_d} = \frac{320 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 266 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,Druck}} < 1,0 = \frac{37,03}{266} = 0,13 < 1,0$$

## Maßgebende Lastfallkombination für Zug

LFK 6	$40,48 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	------------------------------

Nachweis:

$$R_{d,zug} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\delta}{\eta_d} = \frac{350 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 291 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,zug}} < 1,0 = \frac{40,48}{291} = \mathbf{0,14 < 1,0}$$

## 11. Nachweis der oberen Deckschicht im Wellental (Sommer)

Druck, Zug

LK		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	$E_G^* \gamma_{G,1} + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q$	-9,18	$E_G^* \gamma_G + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q$	-10,79
2	$E_G^* \gamma_{G,1} + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q * \psi_0$	-17,8	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q * \psi_0$	-19,4
3	$E_G^* \gamma_{G,1} + ts^* \gamma_Q$	-30,68	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q$	-32,29
4	$E_G^* \gamma_G + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q * \psi_0 + \gamma_{G,1} * \Delta e$	5,85	$E_G^* \gamma_G + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q * \psi_0 + \gamma_{G,1} * \Delta e$	4,25
5	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-4,58	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-6,19
6	$E_G^* \gamma_{G,1} + ts^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-26,09	$E_{G,1}^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-27,70

## Maßgebende Lastfallkombination für Druck

LFK 3	$-32,29 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	-------------------------------

Nachweis:

$$R_{d,Druck} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\sigma_{K,F}}{\eta_d} = \frac{320 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 266 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,Druck}} < 1,0 = \frac{32,29}{266} = \mathbf{0,12 < 1,0}$$

## Maßgebende Lastfallkombination für Zug

LFK 4	$5,85 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	-----------------------------

Nachweis:

$$R_{d,zug} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\delta}{\eta_d} = \frac{350 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,20} = 291 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,zug}} < 1,0 = \frac{5,85}{291} = 0,02 < 1,0$$

12. Nachweis der unteren Deckschicht (Winter)Druck, Zug

LK		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q$	87,77	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q$	90,91
2	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + ws \cdot \gamma_Q + tw \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	-35,19	$E_G \cdot \gamma_G + ws \cdot \gamma_Q + tws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	-32,05
3	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + tw \cdot \gamma_Q + ws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	-19,80	$E_G \cdot \gamma_G + tws \cdot \gamma_Q + ws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	-16,66
4	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + ws \cdot \gamma_G + tw \cdot \gamma_G + \gamma_{G,1} \cdot \Delta e$	-36,05	$E_G \cdot \gamma_G + ws \cdot \gamma_G + tw \cdot \gamma_G + \gamma_G \cdot \Delta e$	-32,91
5	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + tw \cdot \gamma_G + ws \cdot \gamma_G + \gamma_{G,1} \cdot \Delta e$	-20,67	$E_G \cdot \gamma_G + tw \cdot \gamma_G + ws \cdot \gamma_G + \gamma_{G,1} \cdot \Delta e$	-17,53
6	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + tw \cdot \gamma_Q + \gamma_{G,1} \cdot \Delta e$	4,55	$E_G \cdot \gamma_G + tw \cdot \gamma_Q + \gamma_{G,1} \cdot \Delta e$	7,69
7	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q + tws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	85,99	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q + tws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	89,84
8	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + tws \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	54,47	$E_G \cdot \gamma_G + tws \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	57,61
9	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q + tws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot \Delta s$	84,85	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q + tws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot \Delta s$	87,99
11	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + tws \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot \Delta s$	52,62	$E_G \cdot \gamma_G + tws \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot \Delta s$	55,76
12	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q + tws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot (\Delta e + \Delta s)$	83,99	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q + tws \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot (\Delta e + \Delta s)$	87,13
13	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + tws \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot (\Delta e + \Delta s)$	51,76	$E_G \cdot \gamma_G + tws \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 + \gamma_{G,1} \cdot (\Delta e + \Delta s)$	54,90

## Maßgebende Lastfallkombination für Druck

LFK 4	$-36,05 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	-------------------------------

Nachweis:

$$R_{d,Druck} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\sigma_u}{\eta_d} = \frac{149 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 124,2 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,Druck}} < 1,0 = \frac{36,05}{124,2} = \mathbf{0,30} < \mathbf{1,0}$$

## Maßgebende Lastfallkombination für Zug

LFK 1	$90,91 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	------------------------------

Nachweis:

$$R_{d,Zug} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\delta}{\eta_d} = \frac{350 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 291 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,zug}} < 1,0 = \frac{90,91}{291} = \mathbf{0,31} < \mathbf{1,0}$$

13. Nachweis der unteren Deckschicht (Sommer)Druck, Zug

LK		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	$E_G^* \gamma_{G,1} + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q$	-30,11	$E_G^* \gamma_G + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q$	-26,97
2	$E_G^* \gamma_{G,1} + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q * \psi_0$	-11,34	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q * \psi_0$	-8,2
3	$E_G^* \gamma_{G,1} + ts^* \gamma_Q$	13,87	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q$	17,01
4	$E_G^* \gamma_{G,1} + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q * \psi_0 + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-30,98	$E_G^* \gamma_G + ws^* \gamma_Q + ts^* \gamma_Q * \psi_0 + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-27,84
5	$E_G^* \gamma_{G,1} + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-12,21	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q + ws^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	-9,07
6	$E_G^* \gamma_{G,1} + ts^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	13,01	$E_G^* \gamma_G + ts^* \gamma_Q + \gamma_{G,1} * \Delta e$	16,15

Maßgebende Lastfallkombination für Druck

LFK 4	$-30,98 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	-------------------------------

Nachweis:

$$R_{d,Druck} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\sigma_u}{\eta_d} = \frac{149 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 124,2 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,Druck}} < 1,0 = \frac{30,98}{124,2} = 0,25 < 1,0$$

Maßgebende Lastfallkombination für Zug

LFK 3	$17,01 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	------------------------------

Nachweis:

$$R_{d,zug} = \frac{R_k}{\gamma_m} = \frac{\delta}{\eta_d} = \frac{350 \frac{N}{mm^2}}{1,20} = 291 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{R_{d,zug}} < 1,0 = \frac{17,01}{291} = 0,05 < 1,0$$



14. Nachweis der Kernschichtschubspannung (Sommer)

LK		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	$E_G \cdot \gamma_{G,1}$	0,003	$E_G \cdot \gamma_G$	0,003
2	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + w_s \cdot \gamma_Q$	-0,009	$E_G \cdot \gamma_G + w_s \cdot \gamma_Q$	-0,008

Maßgebende Lastfallkombination

LFK 2	$-0,009 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	-------------------------------

Nachweis:

$$f_{cv,d} = \frac{f_{cv}}{\gamma_m} = \frac{0,097 \frac{N}{mm^2}}{1,5} = 0,064 \frac{N}{mm^2}$$

$$= 0,038 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cv,d(Lz)} = \frac{f_{cv(Lz)}}{\gamma_m} = \frac{0,057 \frac{N}{mm^2}}{1,5}$$

$$\frac{S_d}{f_{cv,d}} < 1,0 = \frac{0,009}{0,064} = \mathbf{0,14} < \mathbf{1,0}$$

$$< \mathbf{1,0}$$

$$\frac{S_d}{f_{cv,d(Lz)}} < 1,0 = \frac{0,009}{0,038} = \mathbf{0,23}$$

15. Nachweis der Kernschichtschubspannung (Winter)

LK		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	$E_G \cdot \gamma_{G,1}$	0,003	$E_G \cdot \gamma_G$	0,003
2	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q$	0,025	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q$	0,026
3	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q + w_s \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	0,004	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q + w_s \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	0,005
4	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + w_s \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	0,018	$E_G \cdot \gamma_G + w_s \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	0,019

Maßgebende Lastfallkombination

LFK 2	$0,026 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	------------------------------

Nachweis:

$$f_{cv,d} = \frac{f_{cv}}{\gamma_m} = \frac{0,097 \frac{N}{mm^2}}{1,5} = 0,064 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cv,d(Lz)} = \frac{f_{cv(Lz)}}{\gamma_m} = \frac{0,057 \frac{N}{mm^2}}{1,5}$$

$$= 0,038 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{f_{cv,d}} < 1,0 = \frac{0,026}{0,064} = \mathbf{0,40} < \mathbf{1,0}$$

$$\frac{S_d}{f_{cv,d(Lz)}} < 1,0 = \frac{0,026}{0,038} = \mathbf{0,68}$$

$$< \mathbf{1,0}$$

16. Nachweis der Auflagerdruckspannung

LK		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
1	$E_G \cdot \gamma_{G,1}$	0,32	$E_G \cdot \gamma_G$	0,43
2	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q$	3,13	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q$	3,24
3	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + w_s \cdot \gamma_Q$	-1,18	$E_G \cdot \gamma_G + w_s \cdot \gamma_Q$	-1,07
4	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + S \cdot \gamma_Q + w_s \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	2,23	$E_G \cdot \gamma_G + S \cdot \gamma_Q + w_s \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	2,34
4	$E_G \cdot \gamma_{G,1} + w_s \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	0,51	$E_G \cdot \gamma_G + w_s \cdot \gamma_Q + S \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$	0,62

Maßgebende Lastfallkombination

LFK 2	$3,24 \text{ N/mm}^2 = S_d$
-------	-----------------------------

Nachweis:

$$f_{cc,d} = \frac{f_{cv} \cdot 50mm}{\gamma_m} = \frac{0,1 \frac{N}{mm^2} \cdot 50mm}{1,4} = 3,57 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{S_d}{f_{cv,d}} < 1,0 = \frac{3,24}{3,57} = \mathbf{0,91} < \mathbf{1,0}$$

17. Verformungsnachweis (kurzzeitig)

LFK		[mm]
1	$E_G$	2,58
2	$E_G + S$	17,65
3	$E_G + ws$	-5,47
4	$E_G + ts$	-27,68
5	$E_G + tw$	24,58
6	$E_G + S + tws$	28,65
7	$E_G + ws + tw$	7,74
8	$E_G + tw + ws$	19,75
9	$E_G + ws + ts$	-23,62
11	$E_G + ts + ws$	-32,50
12	$E_G + S + tws + ws$	23,83
13	$E_G + ws + S + tws$	14,58

Maßgebende Lastfallkombination für Druck

LFK 11	32,5 mm = w
--------	-------------

Nachweis:

$$zul. w = \frac{l}{100} = \frac{5000mm}{100} = 50mm$$

$$\frac{w}{zul. w} < 1,0 = \frac{32,5}{50} = 0,65 < 1,0$$

18. Verformungsnachweis (langzeitig)

LFK		[mm]
1	$E_G + \Delta e$	9,23
2	$E_G + S + \Delta e + \Delta s$	38,58
3	$E_G + S + tws + \Delta e$	35,31
4	$E_G + S + tws + \Delta s$	42,92
5	$E_G + S + tws + \Delta e + \Delta s$	49,58

Maßgebende Lastfallkombination für Druck

LFK 11	49,58 mm = w
--------	--------------

Nachweis:

$$zul. w = \frac{l}{100} = \frac{5000 \text{ mm}}{100} = 50 \text{ mm}$$

$$\frac{w}{zul. w} < 1,0 = \frac{49,58}{50} = \mathbf{0,997 < 1,0}$$

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 5.1 Variantenstruktogramm Pfettendach.....	6
Abbildung 5.2 Variantenaufstellung Pfettendach .....	7
Abbildung 5.3 Variantenstruktogramm pfettenloses Dach .....	8
Abbildung 5.4 Variantenaufstellung pfettenloses Dach.....	9
Abbildung 6.1 Programm Pfettenbauweise.....	11
Abbildung 6.2 Eingabedaten Struktogramm .....	12
Abbildung 6.3 Deckblatt.....	13
Abbildung 6.4 Eingabedaten.....	13
Abbildung 6.5 Sandwichbemessung.....	15
Abbildung 6.6 Nachweise Sandwichpaneel .....	19
Abbildung 6.7 Ausgabe Pfettenbemessung.....	20
Abbildung 6.8 Nachweise Pfetten .....	21
Abbildung 6.9 Rahmenbemessung.....	22
Abbildung 6.10 Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung .....	23
Abbildung 6.11 Eingabe Rahmen .....	24
Abbildung 6.12 Schnittgrößenermittlung.....	25
Abbildung 6.13 Knicklängenbeiwerte .....	26
Abbildung 6.14 Knickspannungslinien .....	27
Abbildung 6.15 Querschnittsklassifizierung EC3 .....	36
Abbildung 6.16 Querschnittsnachweise EC3.....	37
Abbildung 6.17 Kostenausgabe .....	40
Abbildung 6.18 Programm pfettenlose Bauweise .....	41
Abbildung 6.19 Eingabedaten.....	42
Abbildung 6.20 Deckblatt pfettenlose Bauweise .....	42
Abbildung 6.21 Eingabedaten.....	43
Abbildung 6.22 Trapezblechbemessung.....	44
Abbildung 6.23 Algorithmus Trapezblechbemessung.....	45
Abbildung 6.24 Nachweise Trapezblechbemessung .....	49
Abbildung 6.25 Rahmenbemessung.....	52
Abbildung 6.26 Berechnungsalgorithmus Rahmenbemessung .....	53
Abbildung 6.27 Eingabedaten Rahmen .....	54
Abbildung 6.28 Schnittgrößenermittlung.....	55

Abbildung 6.29 Algorithmus Querschnittsklassifizierung .....	58
Abbildung 6.30 Querschnittsnachweise .....	59
Abbildung 6.31 Kostenausgabe .....	62
Abbildung 7.1 Preisvergleich Pfettenprofile .....	65
Abbildung 7.2 Preisvergleich Trapezblech.....	66
Abbildung 7.3 Materialkostenaufteilung 6 m .....	68
Abbildung 7.4 Materialkostenaufteilung 6,5 m .....	68
Abbildung 7.5 Materialkostenaufteilung 7 m .....	69
Abbildung 7.6 Materialkostenaufteilung 15 m .....	70
Abbildung 7.7 Materialkostenaufteilung 17,5 m .....	70
Abbildung 7.8 Materialkostenaufteilung 20 m .....	70
Abbildung 7.9 Materialkostenaufteilung 22,5 m .....	71
Abbildung 7.10 Materialkostenaufteilung 25 m .....	71
Abbildung 7.11 Materialkostenaufteilung 27,5 m .....	71
Abbildung 7.12 Materialkostenaufteilung 30m .....	71
Abbildung 7.13 prozentuale Materialkostenverteilung .....	73
Abbildung 7.14 Riegelkosten .....	75
Abbildung 7.15 Stützenkosten .....	75
Abbildung 7.16 Pfetten- und Wandriegelkosten.....	75
Abbildung 7.17 Stahlbaukostenverteilung 6 m.....	77
Abbildung 7.18 Stahlbaukostenverteilung 6,5 m.....	77
Abbildung 7.19 Stahlbaukostenverteilung 7 m.....	78
Abbildung 7.20 Gesamtmaterialkostenvergleich 15 m.....	79
Abbildung 7.21 Gesamtmaterialkostenvergleich 17,5 m.....	79
Abbildung 7.22 Gesamtmaterialkostenvergleich 20 m.....	80
Abbildung 7.23 Gesamtmaterialkostenvergleich 22,5 m.....	80
Abbildung 7.24 Gesamtmaterialkostenvergleich 25 m.....	80
Abbildung 7.25 Gesamtmaterialkostenvergleich 27,5 m.....	81
Abbildung 7.26 Gesamtmaterialkostenvergleich 30 m.....	81
Abbildung 7.27 Gesamtkosten.....	83
Abbildung 7.28 Materialkostenaufteilung 6 m .....	85
Abbildung 7.29 Materialkostenaufteilung 6,5 m .....	85
Abbildung 7.30 Materialkostenaufteilung 7 m .....	85
Abbildung 7.31 Materialkostenaufteilung 15 m .....	87
Abbildung 7.32 Materialkostenaufteilung 17,5 m .....	87

Abbildung 7.33 Materialkostenaufteilung 20 m .....	87
Abbildung 7.34 Materialkostenaufteilung 22,5 m .....	88
Abbildung 7.35 Materialkostenaufteilung 25 m .....	88
Abbildung 7.36 Materialkostenaufteilung 27,5 m .....	88
Abbildung 7.37 Materialkostenaufteilung 30 m .....	89
Abbildung 7.38 prozentuale Materialkostenverteilung .....	90
Abbildung 7.39 Riegelkosten .....	92
Abbildung 7.40 Stützenkosten .....	92
Abbildung 7.41 Pfetten- und Wandriegelkosten.....	92
Abbildung 7.42 Stahlbaukostenverteilung 6 m.....	94
Abbildung 7.43 Stahlbaukostenverteilung 6,5 m.....	94
Abbildung 7.44 Stahlbaukostenverteilung 7 m.....	95
Abbildung 7.45 Gesamtmaterialkostenverteilung 15 m.....	96
Abbildung 7.46 Gesamtmaterialkostenverteilung 17,5 m.....	96
Abbildung 7.47 Gesamtmaterialkostenverteilung 20 m.....	97
Abbildung 7.48 Gesamtmaterialkostenverteilung 22,5 m.....	97
Abbildung 7.49 Gesamtmaterialkostenverteilung 25 m.....	97
Abbildung 7.50 Gesamtmaterialkostenverteilung 27,5 m.....	98
Abbildung 7.51 Gesamtmaterialkostenverteilung 30 m.....	98
Abbildung 7.52 Gesamtkosten.....	100
Abbildung 7.53 Materialkostenverteilung Stahlbau .....	102
Abbildung 7.54 Materialkostenverteilung Hüllkonstruktion.....	102
Abbildung 7.55 Gesamtmaterialkosten .....	104
Abbildung 9.1 Biegeknicken + Biegedrillknicken Riegel .....	109
Abbildung 9.2 Biegeknicken + Biegedrillknicken Stütze .....	110
Abbildung 9.3 Querschnittsklassifizierung EC3 .....	111
Abbildung 9.4 Querschnittsnachweise EC3.....	112

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination .....	16
Tabelle 2 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination .....	17
Tabelle 3 n-Faktoren.....	18
Tabelle 4 Teilsicherheitsbeiwerte.....	19
Tabelle 5 Zuordnung der Knicklinien .....	28
Tabelle 6 Imperfektionsbeiwerte .....	28
Tabelle 8 Momentenbeiwerte $\zeta$ .....	29
Tabelle 7 Korrekturbeiwerte $k_c$ .....	29
Tabelle 9 Zuordnung der Knicklinien .....	33
Tabelle 10 Imperfektionsbeiwerte .....	33
Tabelle 12 Momentenbeiwerte $\zeta$ .....	34
Tabelle 11 Korrekturbeiwerte $k_c$ .....	34
Tabelle 13.....	38
Tabelle 14 Schnittkraftermittlung für andrückende Lastfallkombination .....	46
Tabelle 15 n-Faktoren.....	47
Tabelle 16 Teilsicherheitsbeiwerte.....	48
Tabelle 17 Schnittkraftermittlung Rahmen.....	56
Tabelle 18 Schnittkraftermittlung Rahmen.....	56
Tabelle 19 Voute.....	60
Tabelle 20 Trapezblechbemessung Abweichung .....	63
Tabelle 21 Rahmenbemessung Abweichung .....	64
Tabelle 22 günstigste Varianten Pfettendach .....	67
Tabelle 23 Auswertung Materialkosten.....	69
Tabelle 24 Auswertung Spannweite .....	72
Tabelle 25 Kosten Stahlbau.....	74
Tabelle 26 Auswertung Stahlbaukosten .....	76
Tabelle 27 Auswertung Gesamtmaterialkosten .....	82
Tabelle 28 günstigste Varianten pfettenlose Dachkonstruktion .....	84
Tabelle 29 Auswertung Materialkostenverteilung Achsabstände.....	86
Tabelle 30 Auswertung Materialkostenverteilung Achsabstände.....	89
Tabelle 31 Kosten Stahlbau.....	91
Tabelle 32 Auswertung Kosten Stahlbau .....	93



Tabelle 33 Gesamtmaterialekostenverteilung.....	99
Tabelle 34 günstigste Varianten .....	101
Tabelle 35 Auswertung Materialekostenverteilung .....	103
Tabelle 36 Auswertung Gesamtmaterialekosten .....	105

## Literaturverzeichnis

- [1] **DIN EN 1993** :Eurocode 3 „Berechnungen von Stahlkonstruktionen“
- [2] **DIN EN 1991** :Lastannahmen für Bauten. Teil1
- [3] **DIN EN 14509:2006** : Selbsttragende Sandwich-Elemente mit beidseitigen  
Metalldeckschichten
- [4] **TyssenKrupp Hoesch** : Zulassungsbescheid Typenblätter.- Düsseldorf:2004
- [5] **bauforumstahl e.V.**  
Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993- Ernst & Sohn
- [6] **Laufs, Torsten**: Vorlesungsunterlagen Nachweisführungen von  
Stahltrapezprofilblechen nach DIN 18807
- [7] **Kleinlogel, A./ Haselbach, W.**: Rahmenformeln.- 17.Auflage- Berlin:  
Ernst &Sohn, 1993
- [8] **Kindmann R./ Kraus M./ Niebuhr H.-J.**: Stahlbau Kompakt 2.Auflage  
Stahleisen 2008
- [9] **Kingspan**: Stützweitentabellen für Sandwichelemente mit IPN-Dämmkern
- [10] **Schrag-Kantprofile**: Stützweitentabellen für Kantprofile

Software: Microsoft Excel 2010

Microsoft Word 2010

Microsoft Visio 2010

Rstab 8

### **Eigene Software**

<i>Bemessung Pfetten Sandwich1.xlsm</i>	Software zur statischen und kalkulatorischen Untersuchung von Hallen mit Pfettendachkonstruktion
<i>Bemessung pfettenlos Tragschale.xlsm</i>	Software zur statischen und kalkulatorischen Untersuchung von Hallen mit pfettenlosen Dachkonstruktion

### **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit versichere ich,

**Zeilmann, Toni    Seminargruppe SM10-w1-B    Matrikelnummer: 25484**

dass ich diese Bachelorarbeit mit dem Thema

#### **Vergleichende Untersuchung von Dachkonstruktionen in Pfetten- und pfettenloser Bauweise**

selbstständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen  
und Hilfsmittel verwendet wurden.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift